

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra výrobních strojů a konstruování

Víko tavicí komory  
Lid of Fusing Chamber

Student:

Bujnoch Petr

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Zdeněk Noga, CSc.

Ostrava 2013

## Zadání bakalářské práce

Student: **Petr Bujnoch**  
Studijní program: **B2341 Strojírenství**  
Studijní obor: **2302R010 Konstrukce strojů a zařízení**  
Specializace: **21 Konstrukce výrobních strojů a zařízení**  
Téma: **Víko tavicí komory**  
**Lid of Fusing Chamber**

### Zásady pro vypracování:

Pro potřebu laboratoří VŠB-TUO navrhnete vodou chlazené víko tavicí komory plazmové pece. Pozornost věnujte uchycení a zabezpečení pohybu hořáku o výkonu 60 kW a o vnějším průměrem  $D = 45\text{mm}$  ve svislé ose cca  $\pm 50\text{mm}$  s max. vychýlením 30 stupňů. Teplotu ve sloupci plazmy předpokládejte na úrovni cca 8 000 stupňů K.

### Proveďte :

1. Technickou zprávu s popisem funkce navrženého zařízení a nezbytnými výpočty ve členění – seznam požadavků, funkční struktura, morfologická matice, orgánová a hrubá stavební struktura.

2. 3D model konstrukčního návrhu zařízení.

3. Výrobní výkresovou dokumentaci víka s uchycením, posunem a naklápěním hořáku.

Rozsah výtahu z rešerše z Bakalářského projektu v textové části práce cca 5str., rozsah výkresové části min. 1A0

### Seznam doporučené odborné literatury:

ČSN 01 6910 Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory.

Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.

ČSN ISO 690 Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura.

Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.

HUBKA, V. Konstrukční nauka.

Zürich: Heurista, 1995. 105s. ISBN 80-90 1135-0-8

Zásady pro vypracování diplomové (bakalářské) práce.

FS\_SME\_05\_003 verze: G

LITERÁRNÍ REŠERŠE – zpracovaná v rámci Bakalářského projektu

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Zdeněk Noga, CSc.**

Datum zadání: 14.12.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013

---

doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář  
vedoucí katedry



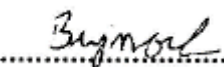
---

doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě      20. 5. 2013



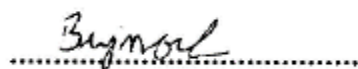
.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová (bakalářská) práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 20. 5. 2013



podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Bujnoch Petr

Adresa trvalého pobytu autora práce:

739 45, Fryčovice 218

## **ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

BUJNOCH, Petr. *Víko tavicí komory*: Ostrava, 2013. Bakalářská práce. VŠB - Technická univerzita Ostrava. 58 stran. Vedoucí práce: Ing. Noga Zdeněk, CSc.

Bakalářská práce se zabývá návrhem víka tavicí komory plazmové pece. V rešeršní části je popsán princip a chod tavicí komory. Po specifikaci požadavku na zařízení je zpracována funkční struktura a morfologická matice, z které byly vybrány 2 koncepty, z nichž byl 1 zpracován do čisté stavební struktury. Výpočtová část se zabývá návrhem chladicího výkonu a určení potřebných sil k naklopení hořáku. Výkresová dokumentace je přiložena v příloze bakalářské práce.

## **ANNOTATION OF BACHELOR THESIS**

BUJNOCH, Petr. *Lid of Fusing Chamber*, Ostrava, 2013. Bachelor Thesis. VŠB - Technical University of Ostrava. 58 pages. Thesis head: Ing. Noga Zdeněk, CSc.

This Bachelor thesis details proposal for melting caps of plasma furnace chamber. In the search section describes the principle and operation of the melting chamber. After specification of requirements for establishments processing functions and the development of morphological matrix were selected two concepts of which one has been developed to clean building structures. Calculation part deals with the design cooling capacity and determination the necessary force to tilt the torch. The drawings are included in Annex of Bachelor thesis.

## Obsah

<b>1</b>	<b>ÚVOD.....</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>LITERÁRNÍ REŠERŠE.....</b>	<b>10</b>
2.1	PRINCIP PLAZMOVÉ TECHNOLOGIE.....	10
2.2	PLAZMOVÝ GENERÁTOR .....	11
2.3	PLAZMOVÝ HOŘÁK .....	12
2.4	HYBRIDNÍ ŠROUBOVÉ KROKOVÉ AKTUÁTORY .....	13
2.5	ROTAČNÍ KROKOVÉ MOTORY .....	13
2.6	MĚŘENÍ TEPLoty A PRŮTOKU VODY .....	14
<b>3</b>	<b>SEZNAM POŽADAVKŮ.....</b>	<b>15</b>
3.1	POŽADAVKY .....	15
<b>4</b>	<b>POŽADAVKOVÝ LIST.....</b>	<b>15</b>
4.1	SEZNAM FUNKCÍ .....	17
4.2	TRANSFORMAČNÍ PROCES .....	17
4.3	MODEL TRANSFORMAČNÍHO PROCESU .....	19
<b>5</b>	<b>FUNKČNÍ STRUKTURA.....</b>	<b>19</b>
<b>6</b>	<b>FUNKČNÍ STRUKTURA (HIERARCHICKÝ FUNKČNÍ STROM) .....</b>	<b>20</b>
<b>7</b>	<b>ORGÁNOVÁ STRUKTURA.....</b>	<b>22</b>
7.1	VYBRANÉ KONCEPTY .....	23
7.2	ZHODNOCENÍ VYBRANÝCH NÁVRHŮ .....	24
<b>8</b>	<b>HRUBÁ STAVEBNÍ STRUKTURA .....</b>	<b>25</b>
<b>9</b>	<b>TEORIE PŘENOSU TEPLA .....</b>	<b>27</b>
9.1	TEPELNÁ BILANCE PLAZMOVÉ PECE.....	27
9.2	PŘENOS TEPLA KONVEKČÍ A ZÁŘENÍM [II] .....	28
<b>10</b>	<b>VÝPOČET CHLAZENÍ VÍKA .....</b>	<b>29</b>
10.1	ZVOLENÉ VELIČINY.....	29
10.2	MATERIÁLOVÉ VLASTNOSTI .....	29
10.3	SOUČINITELE PŘESTUPU TEPLA .....	32
<b>11</b>	<b>VÝPOČET CHLAZENÍ KULOVÉ PLOCHY .....</b>	<b>36</b>

<b>12</b>	<b>VÝPOČET SÍLY PRO NAKLÁPĚNÍ HOŘÁKU .....</b>	<b>39</b>
12.1	VOLBA TAŽNÉ PRUŽINY .....	44
<b>13</b>	<b>ÚPLNÁ STAVEBNÍ STRUKTURA .....</b>	<b>45</b>
<b>14</b>	<b>TECHNICKÁ SPECIFIKACE .....</b>	<b>46</b>
<b>15</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>47</b>
<b>16</b>	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>48</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>50</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>51</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOHY.....</b>	<b>52</b>



# 1 ÚVOD

V laboratořích VŠB-TUO Ostrava je již v provozu laboratorní plazmová pec pro tavení titanových slitin. Mým úkolem je navrhnout pohon hořákové sekce a chlazení víka tavicí komory.

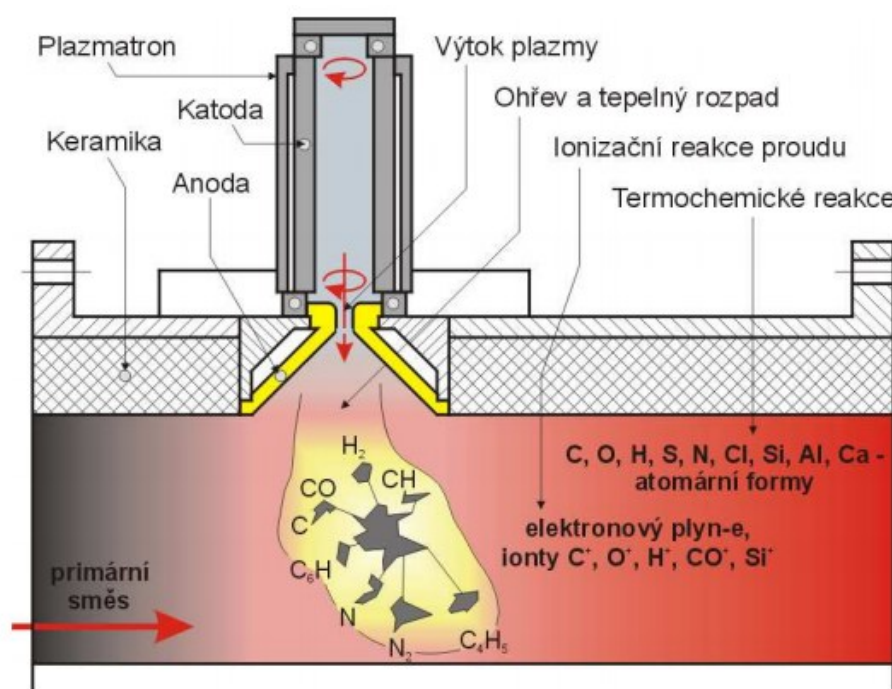
V této práci bych se měl zaměřit především na uchycení hořáku s následným pohybem ve svislé ose cca  $\pm 50\text{mm}$ . Poté musí umožnit hořák max. vychýlení 30 stupňů. Hlavním problémem víka tavicí komory je zajištění správného chlazení, neboť zařízení vyzařuje velkou tepelnou energii. Tento problém zamezím navržením chladicího kanálu v dutině víka, kterým bude proudit chladicí kapalina, která zajistí, že jeho teplota nepřekročí dovolenou mez. Průtok chladicí kapaliny bude zjištěn ventilem na vstupu. Na výstupu bude kontrolována teplota.

V práci byla důsledně uplatněna metodika dle [I].

## 2 LITERÁRNÍ REŠERŠE

### 2.1 Princip plazmové technologie

Plazma působí přímo na částice uhlí, resp. na směs pohybující se v oblasti pod plazmovým hořákem. Počáteční teplota směsi se pohybuje v rozmezí 60-1000°C. Teplota na výstupu z plazmatronu má teplotu 5000 – 7000 K. Rychlost výtoku plazmy z plazmatronu je cca 200 m.s-1. Fyzikálně chemické transformace uhelného prachu a okysličovadla s plazmovým zdrojem zahrnují složité procesy různých typů (destrukce paliva, při které dochází k uvolnění těkavých látek, reakce těkavých látek s okysličovadlem, ohřev koksového zbytku a reakce koksového zbytku s plynnou fází). Při kontaktu proudu plazmy se studenou směsí se současně nahřívá vzduch a uhelné částice. Částice uhlí jsou vystaveny velkému tepelnému šoku, díky kterému se rozpadají až na 1/10 své původní velikosti. Z úlomků částic je uvolňována prchavá hořlavina ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}$ ,  $\text{C}_6\text{H}_6$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2$ ) a komponenty obsahující dusík (pyridin, pyrrol). Následně se v plynné fázi vytvoří atomární formy ( $\text{O}$ ,  $\text{H}$ ,  $\text{N}$ ,  $\text{C}$ ,  $\text{S}$ ), minerální hmoty uhlí ( $\text{Si}$ ,  $\text{Al}$ ,  $\text{Ca}$ ) a radikály ( $\text{NH}$ ,  $\text{CH}$ ,  $\text{CN}$ ,  $\text{OH}$ ). Kromě toho je v plynné fázi přítomný elektronový plyn ( $e$ ), kladné ( $\text{C}^+$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{N}^+$ ,  $\text{CO}^+$ ,  $\text{O}^+$ ,  $\text{Si}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) a záporné ionty ( $\text{O}^-$ ,  $\text{H}^-$ ,  $\text{N}_2^-$ ) [2]



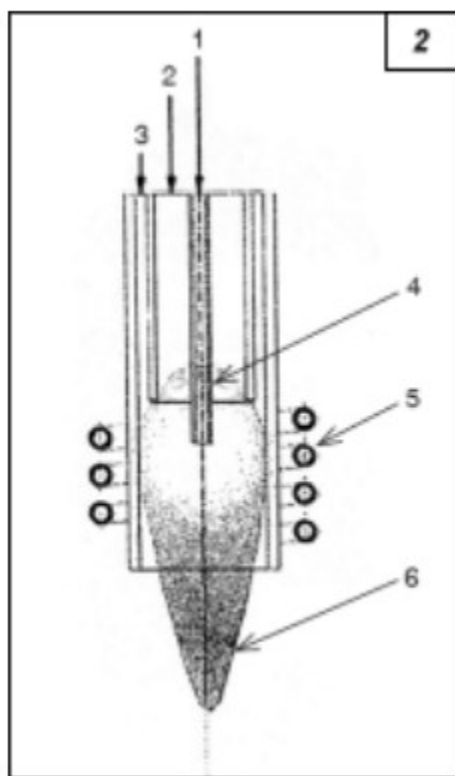
Obrázek 1 Princip působení nízkoteplotní plazmy na primární směs [2]

## 2.2 Plazmový generátor

U plazmové technologie se plazma vytváří za pomoci plazmového generátoru, viz obr. 2. Plazmatron je v technické praxi označován za zařízení produkující nízkoteplotní plazmu, jejíž teplota se v jádře pohybuje v rozmezí 2000- 7000 K. Nízkoteplotní plazma vzniká v prostoru ohraničeném měděnou katodou, měděnou anodou a izolační teflonovou výstelkou, působením elektrického výboje na zavířený proud plazmatvorného vzduchu. Plazmatvorný vzduch je do plazmatronu přiváděn ve dvou úrovních. Přes tří-drážkový terciální zavířovač ústím katody a šesticestným terciálním zavířovačem ústím anody. Podmínkou pro dosažení co největší životnosti katodových a anodových elektrod je jejich intenzivní chlazení vnějšího obalu demineralizovanou vodou. [2]

Plazmové generátory se dělí:

- plazmové generátory s elektrodami,
- plazmové generátory s vysokofrekvenčním elektromagnetickým polem. [2]



- 1 – pracovní plyn
- 2 – centrální plyn
- 3 – obalový plyn
- 4 – přívodní trubka pracovního prášku
- 5 – indukční cívka na obalové rouře
- 6 – trysk plazmatu

Obrázek 2 Princip plazmatronu[4]

Na obr. 2 je zobrazen princip vysokofrekvenčního indukčního plazmatronu. Dopravní (pracovní) plyn (1) a obalový plyn (3) mají samostatné přívody oddělené od roury s centrálním plynem (2). [4]

## 2.3 Plazmový hořák

V plazmovém hořáku dochází k přeměně elektrické energie na tepelnou energii usměrněného proudu plazmatu. Vlastní princip je odvozený od svařování metodou WIG, kde keramická hubice je nahrazena kovovou tryskou chlazenou vodou nebo plynem. Pro nastartování a zapálení pomocného oblouku se používá VF ionizátor připojený ke kovové trysce. Pomocný (pilotní) oblouk vytvoří dostatečně vodivé prostředí pro zapálení hlavního oblouku i na relativně dlouhou vzdálenost. Závislé zapojení se používá především u svařování, navařování a řezání. [3]



Obrázek 3 Těleso plazmového hořáku [3]

Plazmový hořák má zúženou výstupní trysku, která přispívá ke kontrakci plazmového paprsku. Kontrakce je také podporována fokusačním plynem přiváděným k plazmovému paprsku. Jako fokusační plyny se používají směsi argonu s vodíkem nebo dusíkem. Dvouatomové plyny s vysokou spotřebou energie na disociaci a velkou tepelnou kapacitou odebírají teplo z vnějších vrstev plazmatu a vysokou tepelnou vodivostí vodíku je tento efekt ještě zesílen. Plazma se tím zužuje, protože musí přenést výkon odpovídající nastaveným hodnotám, zvýší se její teplota a tím i stupeň ionizace a následně elektrická vodivost. Ochlazení plazmy při kontaktu s materiálem vede k opačnému pochodu tzv. rekombinaci, kdy dochází ke slučování elektronů s ionty na atomy. Při rekombinaci se disociací a ionizací akumulované teplo uvolňuje a přenáší do materiálu. Účinnost přenosu tepla se pohybuje kolem 70-80%. Při ohřevu plynu obloukem se mnohonásobně zvyšuje jeho objem a tím výstupní rychlost plazmy dosahuje vysokých hodnot. Dynamická účinnost dopadající plazmy spolu s vysokou teplotou umožňuje proniknutí paprsku v celém průřezu materiálu. Při svařování musí být dosažena rovnováha mezi tímto dynamickým účinkem a povrchovým napětím taveniny tak, aby nedošlo k vyfouknutí taveniny ze spáry. Výstupní rychlost plazmy při svařování a navařování se pohybuje mezi 200 až 500 m.s<sup>-1</sup>. [3]

## 2.4 Hybridní šroubové krokové aktuátory

Životnost motoru je více než 10x delší než tradiční aktuátor s bronzovou matkou – a navíc nevyžaduje žádnou údržbu a neovlivňuje celkové náklady na provoz aktuátoru. V případě použití předeprnuté matky (eliminuje vůli šroubu), tato matka nevyčnívá z profilu aktuátoru, tak jak je to běžné u jiných aktuátorů. Řada hybridních aktuátorů obsahuje celkem 6 různých verzí od 21mm 87mm (rozměr čtvercové příruby). Každá velikost má tři hlavní možné způsoby montáže. [1]

### Hlavní parametry [1]

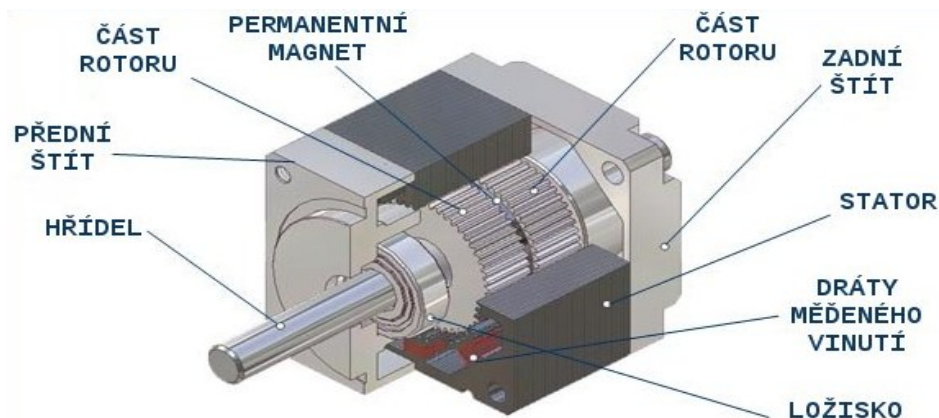
- Patentované uložení šroubu (nízké tření + dlouhá životnost),
- axiální kuličkové ložisko také s dlouhou životností,
- různé stoupání pohybového šroubu (0,001-0,1 mm/krok),
- standardní úhel na jeden krok 1,8 stupně,
- tepelná třída b (130 °C),
- bez údržbové provedení,
- 6 velikostí,
- různá napětí (2,3v až 12v).



Obrázek 4 Hybridní krokové aktuátory [1]

## 2.5 Rotační krokové motory

Každý krokový motor může být navinut tak, aby měl určitou momentovou charakteristiku. Když je požadován moment na malých rychlostech, je možné navinout motor tak, aby měl více momentu na požadovaném rozsahu rychlostí. Stejně tak je možné navinout motor, aby dosahoval větších rychlostí a menšího momentu. Co je asi nejdůležitější, že tyto změny vinutí neznamenají žádné zvýšení ceny. [1]



Obrázek 5 Části krokového motoru [1]

Krokové motory jsou používány v polohovacích aplikacích, které vyžadují přesné pohyby a potřebují při zastavení držení v určité poloze bez ztráty polohy. Různé přírůstky proudu jsou dodány do vinutí, aby motor krokoval. Pokud se motor zastaví tak se nepřehřeje ani zničí. Motoru je také možné nechat MIKROKROKOVAT, nebo krokovat po přírůstcích tak malých jako  $0,0035^\circ$ , takže pokud přesné polohování jsou ty, co potřebujete nejlevnější variantou je použít krokový motor. [1]

## 2.6 Měření teploty a průtoku vody

Pro měření teploty a průtoku vody v chladicí soustavě je navržen měřič průtoků, tepla, stavový přepočítavač plynů Ohmat 51. [6]

### Použití

- pro zpracování různých fyzikálních veličin jako jsou elektrické proudy, odpory, frekvence, teploty, průtoky, energie, výšky hladiny, vzdálenosti, rychlosti, otáčky a další
- jako pracovní měřidlo (nestanovené) k měření průtoku vody, průtoku vodní páry, tepla předaného vodou
- jako stanovené měřidlo v systémech páry a jako jednotka protečeného množství plynu
- měření tepla předaného vodní párou přímou a náhradní metodou
- kompaktní konstrukce a průmyslové krytí IP65 umožňuje použití matematického členu v nejnáročnějších podmínkách [6]



Obrázek 6 Měřič průtoku tepla a plynu INMAT 51 [6]

### 3 SEZNAM POŽADAVKŮ

#### 3.1 Požadavky

##### Hořáková sekce

- Výkon plazmového zdroje 60kW,
- naklápění hořáku,
- výškového nastavení hořáku,
- uchycení hořáku ke kulové ploše,
- přívod elektrické energie,
- chlazení,
- dobrá těsnost,
- hermetizace.

##### Víko

- Chlazení,
- max. teplota odcházející chladicí vody 40°C,
- chladicí voda nesmí vřít,
- materiál pláště – měď nebo nerez,
- dobrá těsnost připojovacích zařízení,
- výstup a vstup chladicí vody pomocí rychlospojky,
- hermetizace.

### 4 POŽADAVKOVÝ LIST

Tyto požadavky musí zařízení splňovat. Uvedeny jsou požadavky pro víko tavící komory a plazmový hořák.

Specifikace požadavků			
Proces	Funkce	Podmínka	Přání
Tavící proces			
	Chlazení víka vodou	X	
	Hermetická těsnost pro hořák	X	
	Kulová plocha pro naklápění hořáku	X	

	Hermetizace kulové plochy	X	
	Kontrola teploty	X	
	Vstup a výstup pro chladicí kapalinu		
	Těsnit potřebné části	X	
	Řídit rychlost chlazení víka	X	
	Jednoduchá konstrukce		X
	Výkon plazmového hořáku 60kW	X	
	Průměr víka D = 475 mm	X	
	Spojení víka s tavící komorou	X	
	Hermetická těsnost víka s tavící komorou	X	
	Vstupní teplota vody 16 C°	X	
	Výstupní teplota vody max. 40 C°	X	
<b>Pohyb hořáku</b>			
	Pohyb hořáku ve třech osách	X	
	Naklopení hořáku pod úhlem 30°	X	
	Vysouvání hořáku o délku L=50 mm	X	
	Bezpečné držení hořáku v každé poloze	X	
	Regulace rychlosti pohybu hořáku	X	
	Jednoduchá konstrukce	X	
<b>Provoz</b>			
	Prostupy tepla	X	
	Teploty tavení	X	
	Prostředí: Laboratorní podmínky		X
	Údržba: Minimální	X	
	-žádná		X
<b>Vzhled</b>			
	Uspokojivý tvar		X
	Rozměry konstrukce s ohledem na laboratoř	X	
<b>Výroba</b>			
	Kusová	X	
<b>Manipulace</b>			
	Stacionární stroj	X	
<b>Ergonomie</b>			
	Vysoká stabilita		
	Bezpečnost proti poranění	X	
	Jednoduché a bezpečné nastavování a přestavování	X	



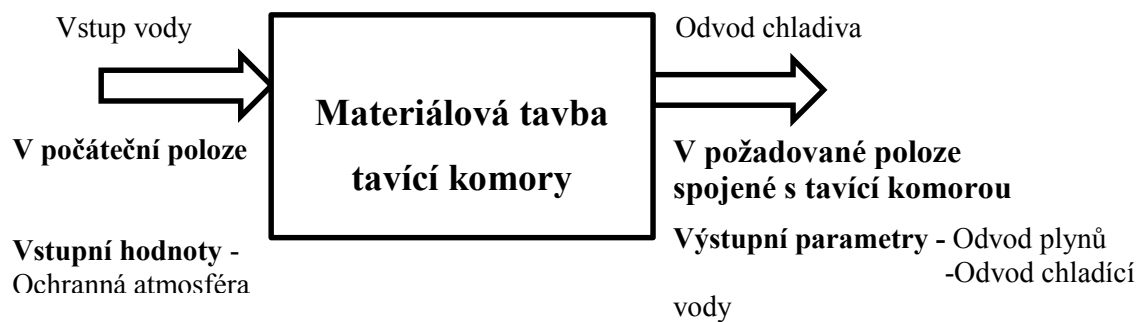
## 4.1 Seznam funkcí

- Upnutí hořáku k víku,
- spojení víka k tavící komoře,
- vysouvání hořáku,
- naklopení hořáku,
- těsnění hořákové sekce,
- těsnění kulové plochy,
- utěsnit stykové plochy mezi víkem a tavící komorou (z důvodu úniku ochranné atmosféry a vniknutí vzduchu),
- vizuální kontrola průběhu tavení,
- možnost regulovat rychlost posunu hořáku,
- kontrola tlaku chladicí vody,
- kontrola rychlosti průtoku chladicí vody,
- kontrola teploty,
- možnost seřízení průtoku,
- přívod energie k hořáku,
- přívod chlazení k hořáku.

## 4.2 Transformační proces

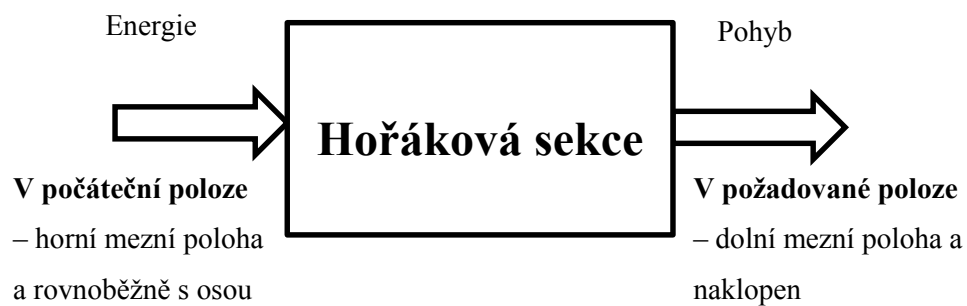
Na obrázku je schéma černé skříňky, která znázorňuje počáteční a koncový stav procesu transformace [I]

### Černá skříňka pro víko tavící komory



Obrázek 7 Blokové schéma technického procesu [1]

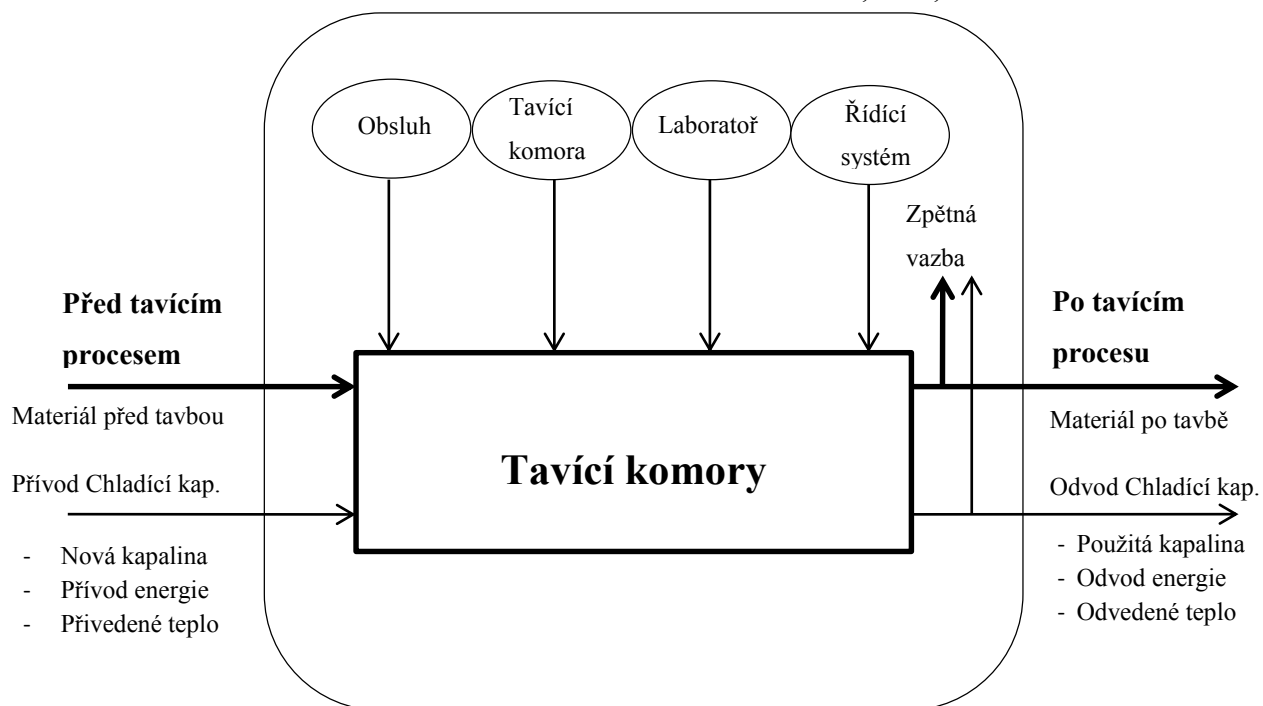
### Černá skříňka pro hořákovou sekci



Obrázek 8 Blokové schéma technického procesu [1]

### 4.3 Model transformačního procesu

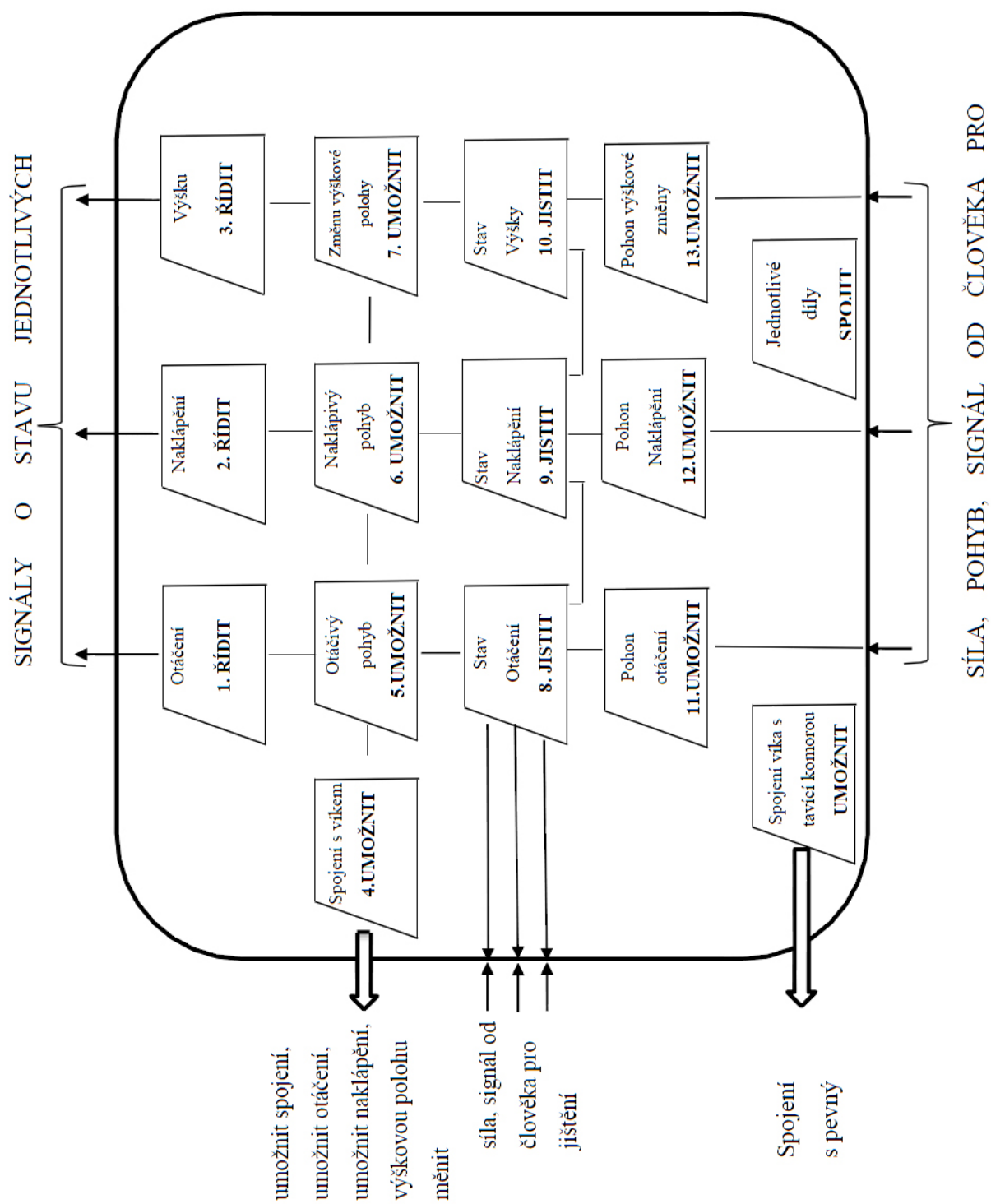
Ostrava, VŠB, 2013



Obrázek 9 Model technického procesu [I]

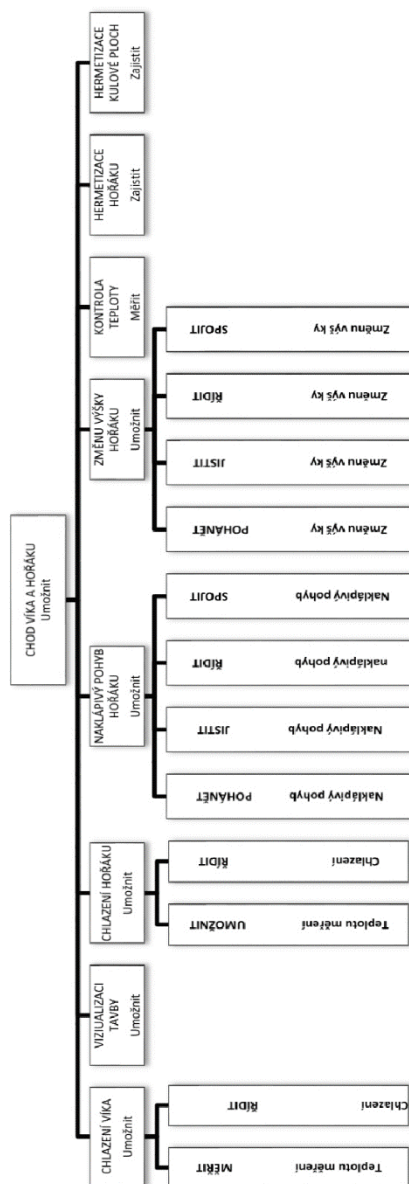
## 5 FUNKČNÍ STRUKTURA

Funkční struktura vyjadřuje optimální soustavu funkcí technického systému. Zobrazuje technický systém pomocí účelových funkcí. [I]



Obrázek 10 Blokové schéma funkční struktury [1]

## 6 FUNKČNÍ STRUKTURA (HIERARCHICKÝ FUNKČNÍ STROM)



Obrázek 11 Schéma hierarchického funkčního stromu [1]

## 7 ORGÁNOVÁ STRUKTURA

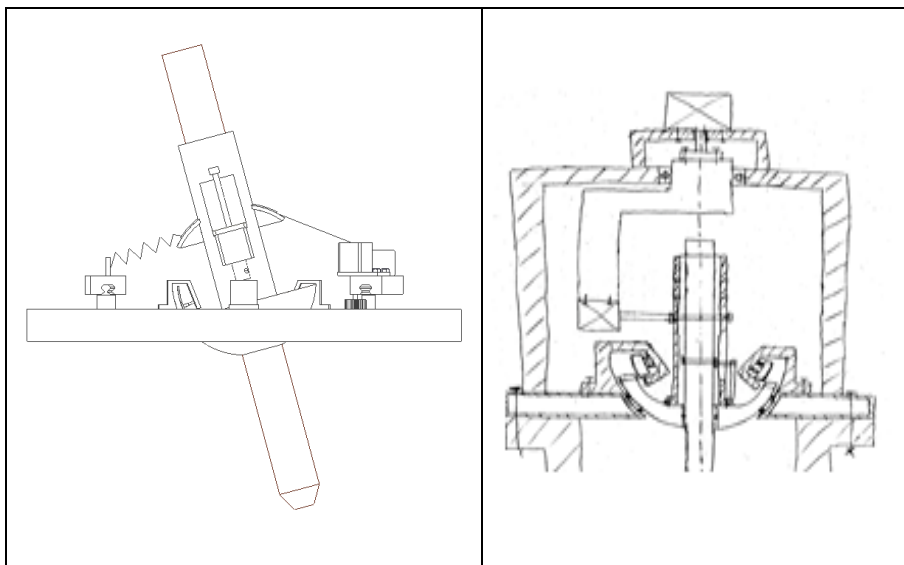
Orgánová struktura přiřazuje jednotlivé funkční orgány – nositele funkcí, z nichž vybereme nejvhodnější varianty způsobu zajištění funkce [I]

Dílčí funkce		Orgány nositelé funkcí			
		1	2	3	4
1.	Ustavení hořáku změnu výšky UMOŽNIT	ručně	Krokový aktuátor		
2.	Rotační pohyb hořáku UMOŽNIT	ručně	Otočné rameno	Kruhové vedení	Ložisko se šnekovým pohonem
3.	Rotační pohyb pohánět	ručně	Elektromotor	Krokový motor	
4.	Teplotu MĚŘIT	Elektrický	Pyrometr	Dilatační	Kapalinový
5.	Přívod chlazení UMOŽNIT	Voda	Vzduch	Tekutý dusík	Nechladit
6.	Chlazení ŘÍDIT	Škrťací ventil	Trysky	Clony	
7.	Chlazení MĚŘIT	Kontaktní	Bezkontaktní		
8.	Hermetizace kulové plochy	O-kroužek FKM	O-kroužek PTFE		
9.	Spojení s pecí ZAJISTIT	Šroubovými spoji	Rychloupínáním	Svarem	
10.	Polohu hořáku JISTIT	Svorka			
11.	Měření teploty polohu JISTIT	ručně	Svar	Nýt	Uchycovací přípravek
12.	Připojit přívod vody	Rychlospojka	Šroubení	Trubková koncovka	
13.	Hermetizace hořáku	O-kroužek FFPM	Pryžové těsnění	Těsnící pastou	Silikonové těsnění
14.	Kontrolovat rychlost průtoku vody	Turbínový průtokoměr	Vrtulkovým průtokoměrem		

Tabulka 1 Orgánová struktura [I]

Legenda: — Návrh č.1  
 — Návrh č.2

## 7.1 Vybrané koncepty



	Návrh č.1	Návrh č.2
1	Krokový aktuátor	Krokový aktuátor
2	Kruhové vedení	Otočné rameno
3	Krokový motor	Krokový motor
4	Pyrometr	Pyrometr
5	Voda	Voda
6	Škrťící ventil	Škrťící ventil
7	Bezkontaktní	Bezkontaktní
8	O-kroužek FKM	O-kroužek FKM
9	Šroubovými spoji	Šroubovými spoji
10	Svorka	Svorka
11	Uchycovací přípravek	Uchycovací přípravek
12	Rychlospojka	Trubková koncovka
13	O-kroužek FFPM	Silikonové těsnění
14	Turbínový průtokoměr	Vrtulkovým průtokoměrem

Tabulka 2 Vybrané koncepty [1]

## 7.2 Zhodnocení vybraných návrhů

Hodnocení má stupnici od 1-5. Kde bod 5 znázorňuje nejhorší a bod 1 nejlepší přínos.

Dle zadaných kritérií jsem zvolil variantu 1 jako nevhodnější.

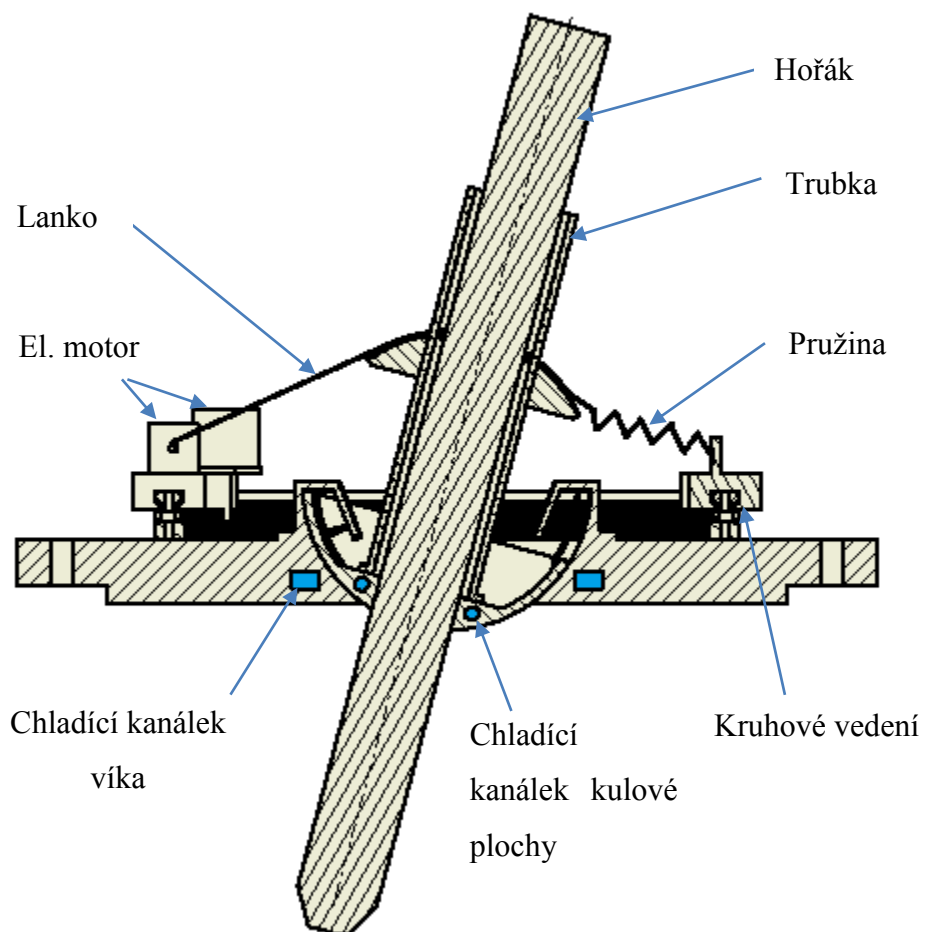
Č.	Funkce	N. č. 1	N. č. 2
1	Ustavení hořáku změnu výšky UMOŽNIT	1	1
2	Rotační pohyb hořáku UMOŽNIT	2	3
3	Rotační pohyb pohánět	1	1
4	Teplotu MĚŘIT	1	1
5	Přívod chlazení UMOŽNIT	2	2
6	Chlazení ŘÍDIT	1	1
7	Chlazení MĚŘIT	1	1
8	Hermetizace kulové plochy	1	1
9	Spojení s pecí ZAJISTIT	2	2
10	Polohu hořáku JISTIT	2	2
11	Měření teploty polohu JISTIT	2	2
12	Připojit přívod vody	1	3
13	Hermetizace hořáku	2	2
14	Kontrolovat rychlost průtoku vody	1	3
<b>Celkový počet bodů</b>		20	25
<b>Celkové pořadí</b>		1	2

Tabulka 3 Hodnocení vybraných možností [1]



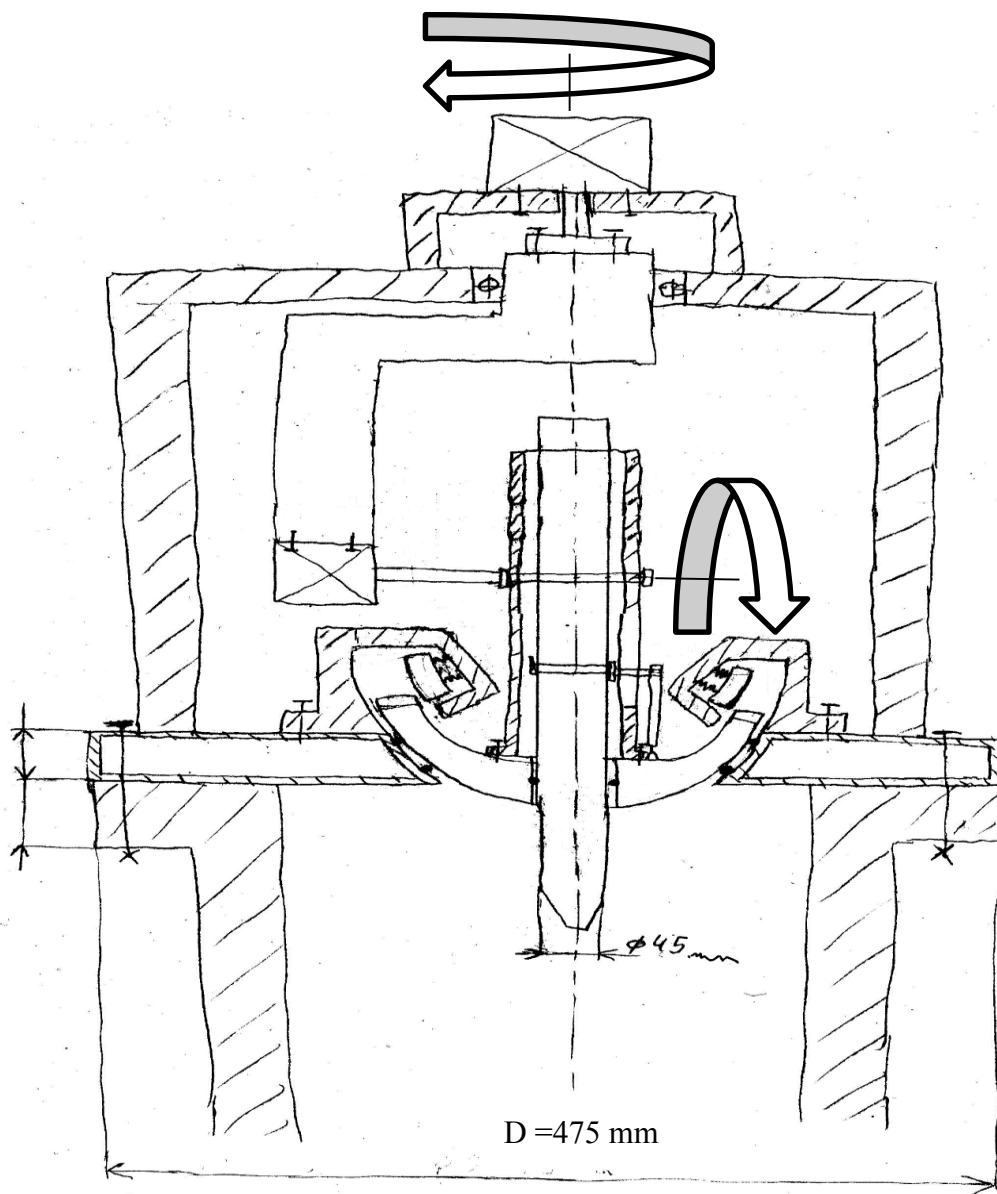
## 8 HRUBÁ STAVEBNÍ STRUKTURA

### Návrh č.1



Obrázek 12 Hrubá stavební struktura - Návrh č. 1

## Návrh č.2



Obrázek 13 Hrubá stavební struktura - Návrh č.2

### Princip návrhu č.2

Pro vysouvání hořáku je hořák uložen v trubce a pohyb je řízen aktuátorem. Pro naklopení hořáku je trubka pevně spojena s kulovou plochou a s elektromotorem, pomocí svorky uchycené na trubce. Rotační pohyb kolem osy je zajištěno ramenem uloženým v ložisku. Pro automatizovaný pohyb je rameno poháněno dalším elektromotorem.

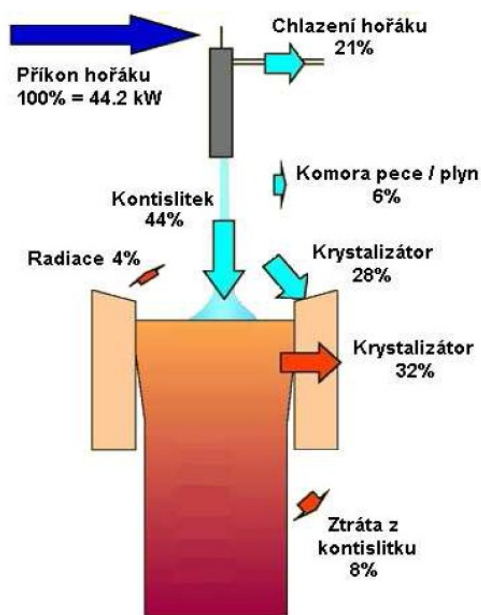
## 9 TEORIE PŘENOSU TEPLA

### 9.1 Tepelná bilance plazmové pece

Tepelná bilance plazmové pece o příkonu hořáku 100 kW

Příkon hořáku	Katoda (hořák)		Plášť pece		Anoda		Podstava a dolní prstenec		Střední prstenec		Horní dva prstence		Víko	
kW	kW	%	kW	%	kW	%	kW	$\text{kW}\cdot\text{m}^{-2}$	kW	$\text{kW}\cdot\text{m}^{-2}$	kW	$\text{kW}\cdot\text{m}^{-2}$	kW	$\text{kW}\cdot\text{m}^{-2}$
48,2	1,3	2,7	1,7	3,6	26,2	54,8	4,5	6,8	2,9	12,1	5,8	12,1	5,4	17,0
43,0	1,6	3,6	2,0	4,7	25,8	60,5	3,2	4,8	2,1	8,9	4,2	8,8	3,8	11,9
14,2	0,8	5,7	1,3	9,2	8,2	58,2	0,7	1,1	0,5	2,1	1,3	2,7	1,3	4,1

Tabulka 4 Výsledky kolorimetrického měření plazmové pece s plazmovým obloukem stabilizovaným argonem o průtoku  $15 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$  [5]



Obrázek 14 Schéma odvodu tepelné energie z pece [5]

Dle obr. 14 a po konzultaci s vedoucím bakalářské práce [V] jsem zvolil tepelnou energii pod víkem 10% přivedené energie od hořáku. Příkon hořáku je 60 kW, tedy celková tepelná energie působící na spodní stěnu víka je 6000 W. Tepelná energie nepůsobí jen na spodní stěnu víka, ale i na kulovou plochu. Tepelnou energii jsem určil podle procenta obsahu působení na stěny. Kde na víko působí 95%  $P_v = 5700 \text{ W}$  tepelné energie a na kulovou plochu zbylých 5%  $P_k = 300 \text{ W}$

## 9.2 Přenos tepla konvekcí a zářením [II]

Při návrhu chladicí komory ve víku je nejdůležitější vypočítat celkový tepelný tok vyzařovaný z tavicí komory působící na spodní stěnu víka.

Tímto vztahem se zabývá Stefan-Boltzmannův zákon nebo Lambertův zákon. Pro výpočet jsem použil Stefan-Boltzmannův zákon. Pro celkový tepelný tok -  $P_c$  konvekcí a zářením mezi tělesem a okolním prostředím platí:

$$P_c = P_v + P_{kp} \quad [\text{W}] \quad (9-1)$$

Kde  $P_c$ ...celkový tepelný tok [W]

$P_v$ ...tepelný tok pod víkem [W]

$P_{kp}$ ...tepelný tok pod kulovou plochou [W]

### Tepelný tok konvekcí

$$P_k = \alpha_k \cdot S_k \cdot (t_p - t_t) \quad [\text{W}] \quad (9-2)$$

Kde  $\alpha_k$ ... součinitele přestupu tepla konvekcí [W · m<sup>-2</sup> · K<sup>-1</sup>]

$S_k$ ...obsah kanálku [m<sup>2</sup>]

$t_p$ ...teplota povrchu tělesa [°C]

$t_t$ ...střední teplota tekutiny [°C]

### Tepelný tok zářením

$$P_z = \varepsilon_n \cdot C_o \left[ \left( \frac{T_p}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_{ok}}{100} \right)^4 \right] \cdot S_p \cdot \varphi_{p,ok} \quad [\text{W}] \quad (9-3)$$

Kde  $P_z$ ...množství tepla sálavého plochou  $A_1$  a dopadající na plochu  $A_2$  [W]

$\varepsilon_n$ ...stupeň černosti vzájemného sálání [—]

$C_o$ ... je emisní konstanta absolutně černého tělesa,

rovná  $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-4}$

$T_p$  a  $T_{ok}$  ... teploty povrchů mezi nimiž dochází k výměně tepla sáláním [K]

$S_p$ ...obsah spodní plochy víka, na které působí teplo z hořáku [m<sup>2</sup>]

## 10 VÝPOČET CHLAZENÍ VÍKA

Pro konstrukční návrh chladicího zařízení víka je nejdůležitější znát jeho tepelné zatížení. Profil kanálku jsem zvolil obdélníkového průřezu, který se táhne v dutině víka „hadovitým“ tvarem viz (obr. 16)

### 10.1 Zvolené veličiny

Veličiny	Označení	Hodnota	Jednotka
Šířka kanálku	$a_k$	0,01	m
Výška kanálku	$b_k$	0,015	m
Tloušťka stěny	t	0,08	m
Teplota vody na vstupu	$t_{H_2O \text{ vstup}}$	16	°C
Max. teplota na výstupu	$t_{Max \text{ } H_2O \text{ výstup}}$	40	°C
Tepelná energie víka	$P_v$	5700	W
Tepelná energie kulové plochy	$P_{kp}$	300	W

Tabulka 5 Zvolené veličiny

### 10.2 Materiálové vlastnosti

Hodnoty, které jsou nezbytné pro výpočty chlazení jsou použité z literatury [II]

#### Voda při teplota 20 °C

Veličina	Označení	Hodnota	Jednotka
Hustota	$\rho_{H_2O}$	998,2	$kg \cdot m^{-3}$
Měrná tepelná kapacita	$c_{pH_2O}$	4181,8	$kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$
Součinitel tepelné vodivosti	$\lambda_{H_2O}$	0,614	$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$

Tabulka 6 Materiálové vlastnosti

#### Průřez chladicího kanálu [II]

$$S_k = a_k \cdot b_k \quad [m^2] \quad (10-1)$$

$$S_k = 0,01 \cdot 0,015 = \underline{0,00015 \text{ } m^2}$$

Kde  $a_k \dots$  výška kanálu [m]

$b_k$ ...šířka kanálu [m]

Obsah spodní stěny víka  $S_v$  jsem určil dle programu inventor  $S_v = 0,0623 \text{ m}^2$

### Tepelný tok [II]

$$\phi = \frac{P_v}{S_v} \quad [W \cdot m^{-2}] \quad (10-2)$$

$$\phi = \frac{5700}{0,0623}$$

$$\phi = \underline{91442,87 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}}$$

### Hmotnostní tok vody [II]

Vychází ze vzorce  $P = m \cdot c_{p \text{ v}} \cdot \Delta t \Rightarrow m$  [kg.s<sup>-1</sup>] (10-3)

$$m = \frac{P_z}{c_{pH_2O} \cdot \Delta t} \quad [\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (10-4)$$

Kde  $c_{pH_2O}$ ...měrná tepelná kapacita vody za stálého tlaku [kJ.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>]

$\Delta t$ ...teplotní spád vody [°C]

$$m = \frac{5700}{4181,8 \cdot 3,64}$$

$$m = \underline{0,374 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}}$$

### Rychlost vody v průřezu kanálu [II]

$$w = \frac{m}{S_k \cdot \rho_{H_2O}} \quad [m \cdot s^{-1}] \quad (10-5)$$

Kde  $\rho_{H_2O}$ ...hustota vody [kg · m<sup>-3</sup>]

$$w = \frac{0,374}{0,00015 \cdot 998,2}$$

$$w = \underline{2,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}$$

Vypočtená hodnota určuje nejnižší rychlost proudění vody v kanálu. Pro výpočet dalších hodnot volím rychlost  $w = 2,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

### Vztah pro hydraulický průměr $d_h$ [II]

Hydraulický průměr vyjadřuje charakteristický průměr potrubí. Vztah (10-8) vyjadřuje hydraulický průměr pro obdélníkový průřez.

$$d_h = \frac{4 \cdot S}{O} \quad [\text{m}] \quad (10-6)$$

Kde  $S$ ...je průtočný průřez zaplněný tekutinou  $[\text{m}^2]$

$O$ ...obvod chladicího kanálku  $[\text{m}]$

$$O = 2 \cdot (a_k + b_k) \quad [\text{m}] \quad (10-7)$$

Dosazením (2.0) do vztahu (1.9) obdržíme hydraulický průměr  $d_h$

$$d_h = \frac{4 \cdot a_k \cdot b_k}{2 \cdot (a_k + b_k)} = \frac{2 \cdot a_k \cdot b_k}{a_k + b_k} \quad [\text{m}] \quad (10-8)$$

$$d_h = \frac{2 \cdot (0,01 \cdot 0,015)}{0,01 + 0,015}$$

$$d_h = \underline{0,015 \text{ m}}$$

### Výpočet teplotního rozdílu vody na vstupu a výstupu [II]

Výpočet teplotního rozdílu vody na vstupu a výstupu vychází z bilanční rovnice

$$P = w \cdot S_k \cdot \rho_{H_2O} \cdot c_{p_{H_2O}} \cdot \Delta t_{H_2O} \Rightarrow \Delta t_{H_2O} \quad [\text{W}] \quad (10-9)$$

Ze vztahu 2.2 si vyjádříme teplotní rozdíl vody

$$\Delta t_{H_2O} = \frac{P_1}{w \cdot S_k \cdot \rho_{H_2O} \cdot c_{p_{H_2O}}} \quad [^\circ\text{C}] \quad (10-10)$$

$$\Delta t_{H_2O} = \frac{5700}{2,5 \cdot 0,00015 \cdot 998,2 \cdot 4181,8}$$

$$\Delta t_{H_2O} = \underline{3,64 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

Z výpočtu vyplývá, že voda na vstupu  $t_{H_2O \text{ vstup}}$  se po průchodu chladicími kanálky ohřeje o teplotu  $\Delta t_{H_2O} = 3,64^\circ\text{C}$ .

### Teplota výstupní chladicí vody [II]

Vycházíme z výpočtu pro teplotního rozdílu vody.

$$\Delta t_{H_2O} = t_{H_2O \text{ výstup}} - t_{H_2O \text{ vstup}} \quad [^\circ\text{C}] \quad (10-11)$$

Kde  $t_{H_2O \text{ vstup}}$ ...teplota vstupní chladicí vody  $[\text{ } ^\circ\text{C}]$

$t_{H_2O \text{ výstup}}$ ...teplota výstupní chladicí vody  $[\text{ } ^\circ\text{C}]$

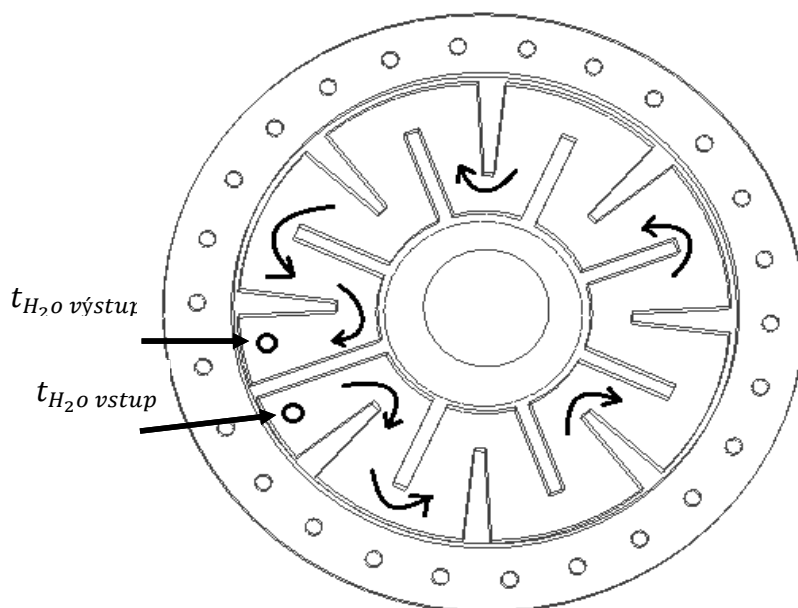
Z rovnice (2.4) si vyjádříme teplotu  $t_{H_2O\text{výstup}}$

$$t_{H_2O\text{výstup}} = \Delta t_{H_2O} + t_{H_2O\text{vstup}} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (10-12)$$

$$t_{H_2O\text{výstup}} = 3,64 + 16$$

$$t_{H_2O\text{výstup}} = \underline{22}^{\circ}\text{C}$$

Teplota na konci z výstupu z chladicího kanálu je  $22^{\circ}\text{C}$ . Tedy nepřekročí dovolenou mez  $40^{\circ}\text{C}$ .



Obrázek 15 Schéma kanálku ve víku

### Průměrná teplota vody v chladicím kanále

$$t_{H_2O\text{střední}} = \frac{t_{H_2O\text{vstup}} + t_{H_2O\text{výstup}}}{2} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (10-13)$$

$$t_{H_2O\text{střední}} = \frac{16 + 22}{2}$$

$$t_{H_2O\text{střední}} = \underline{19}^{\circ}\text{C}$$

## 10.3 Součinitele přestupu tepla

### Reynoldsovo kritérium [II]

Vliv rychlosti, viskozity vody a hydraulického průměru na součinitel tření lze vyjádřit pomocí Reynoldsova kritéria.



$$Re = \frac{w \cdot d_h}{\nu_{H_2O}} \quad [-] \quad (10-14)$$

Kde  $\nu_{H_2O}$ ...kinetická viskozita vody  $[m^2 \cdot s^{-1}]$

Přechodová oblast  $2300 < Re < 10\,000$

Turbulentní proudění  $Re > 10\,000$

$$Re = \frac{2,5 \cdot 0,012}{1,006 \cdot 10^{-6}}$$

$$Re = \underline{29821,07} \Rightarrow 29821 > 10\,000$$

Z výsledné hodnoty vyplývá, že v chladicím kanálku bude voda působit turbulentním prouděním.

### Prandtlovo kritérium [II]

$$Pr = \frac{\nu_{H_2O}}{\alpha_{H_2O}} \quad [-] \quad (10-15)$$

Kde  $\nu_{H_2O}$ ...kinetická viskozita vody při 20 °C  $[m^2 \cdot s^{-1}]$

$\alpha_{H_2O}$ ...součinitel teplotní vodivosti vody při 20 °C  $[m^2 \cdot s^{-1}]$

$$\nu_{H_2O} = \frac{\eta_{H_2O}}{\rho_{H_2O}} \quad [m^{-2} \cdot s^{-1}] \quad (10-16)$$

$$\nu_{H_2O} = \frac{8,941 \cdot 10^{-4}}{998,2}$$

$$\nu_{H_2O} = \underline{8,95 \cdot 10^{-7}} m^{-2} \cdot s^{-1}$$

### součinitel teplotní vodivosti [II]

$$\alpha_{H_2O} = \frac{\lambda_{H_2O}}{c_{p_{H_2O}} \cdot \rho_{H_2O}} \quad [m^2 \cdot s^{-1}] \quad (10-17)$$

Kde  $\lambda_{H_2O}$ ... součinitel tepelné vodivosti vody při 20 °C  $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$

$$\alpha_{H_2O} = \frac{0,602}{4181,8 \cdot 998,2}$$

$$\alpha_{H_2O} = \underline{1,44 \cdot 10^{-7}} m^2 \cdot s^{-1}$$

Po dopočtení chybějících hodnot nyní můžeme vypočítat Prandtlovo kritérium.

$$Pr = \frac{8,95 \cdot 10^{-7}}{1,44 \cdot 10^{-7}}$$

$$Pr = \underline{6,09} [-]$$

### Součinitel přestupu tepla [III]

Součinitel přestupu tepla  $\alpha_k$  se stanoví pomocí kritériálních rovnic. Pro turbulentní proudění je Nusseltovo kritérium ve vztahu:

$$Nu = \frac{\alpha_k \cdot d_H}{\lambda_{H_2O}} \quad [-] \quad (10-18)$$

Nusseltovo kritérium lze i vyjádřit pro podmínku že Reynoldsovo kritérium je  $Re < 10^6$ :

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4} \quad [-] \quad (10-19)$$

Rovnici (10-19) dosadíme do rovnice (12-18) a vyjádříme si součinitel přestupu tepla  $\alpha$ :

$$\alpha_k = \frac{0,021 \cdot \lambda_{H_2O} \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4}}{d_H} \quad [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}] \quad (10-20)$$

$$\alpha_k = \frac{0,021 \cdot 0,602 \cdot 29821^{0,8} \cdot 6,09^{0,4}}{0,012}$$

$$\alpha_k = \underline{8408,7} \, W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$$

### Součinitel emisivity [III]

Jedno těleso bez vydutých ploch je úplně obklopeno druhým tělesem bez vydutých ploch se rozumí takové těleso, které „nevidí samo na sebe“. Index i je těleso uzavřené, j je těleso uzavírající, do rovnice dosazujeme za plochu S plochu uzavřeného tělesa. [III]

$$\varepsilon_n = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_i} + \left(\frac{S_k}{S_v}\right) \left(\frac{1}{\varepsilon_j - 1}\right)} \quad [-] \quad (10-21)$$

$\varepsilon_{i,j}$ ...součinitel poměrné pohltivosti oceli [-]

$$\varepsilon_n = \frac{1}{\frac{1}{0,9} + \left(\frac{0,0006}{0,1036}\right) \cdot \left(\frac{1}{0,9 - 1}\right)}$$

$$\varepsilon_n = 0,95$$

### Součinitel přestupu tepla zářením $\alpha_z$

$$\alpha_z = \frac{\varepsilon_n \cdot C_o \left[ \left( \frac{T_p}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_{ok}}{100} \right)^4 \right]}{[t_p - t_{ok}]} \quad [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}] \quad (10-22)$$

Kde  $T_p$ ...teplota stěny víka [°C]

$T_{ok}$ ...střední teplota vody [°C]

$$\alpha_z = \frac{0,95 \cdot 0,56 \left[ \left( \frac{297,05}{100} \right)^4 - \left( \frac{294,2}{100} \right)^4 \right]}{[297,05 - 294,2]}$$

$$\alpha_z = \underline{0,22 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}}$$

### Celkový součinitel přestupu tepla $\alpha_c$ [II]

Ze vztahu (10-23) zjistíme celkový součinitel přestupu tepla  $\alpha_c$  součtem přestupu tepla konvekcí a zářením.

$$\alpha_c = \alpha_k + \alpha_z \quad [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}] \quad (10-23)$$

$$\alpha_c = 8408,4 + 0,22$$

$$\alpha_c = \underline{8408,62 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}}$$

### Výpočet teploty stěny víka $t_2$ [III]

Délku kanálku jsem určil dle programu inventor  $L_k = 2,8 \text{ m}$

$$\Delta t = t_2 - t_{H_2O \text{ střední}} \quad [^\circ\text{C}] \quad (10-24)$$

Kde  $t_2$ ...teplota vnějšího povrchu stěny [°C]

$t_{H_2O \text{ střední}}$ ...střední teplota vody [°C]

$$\Delta t = \frac{P_v}{\alpha_c \cdot ((a_k + b_k) \cdot 2) \cdot L_k} - t_{H_2O \text{ střední}} \quad [^\circ\text{C}] \quad (10-25)$$

Ze vztahu (3.2) si vyjádříme teplotu  $t_2$  a dosadíme vztah (3.3)

$$t_2 = \frac{P_c}{\alpha_c \cdot ((a_k + b_k) \cdot 2) \cdot L_k} + \frac{t_{H_2O \text{ vstup}} + t_{H_2O \text{ výstup}}}{2} \quad [^\circ\text{C}] \quad (10-26)$$

$$t_2 = \frac{5700}{8408,62 \cdot (0,01 + 2 \cdot 0,015) \cdot 2,8} + \frac{16 + 22}{2}$$

$$t_2 = \underline{23,9\text{ }^{\circ}\text{C}}$$

Teplota stěny víky bude 23,9 °C.

## 11 VÝPOČET CHLAZENÍ KULOVÉ PLOCHY

Působením tepelného toku na kulovou plochu v tavící komoře je potřeba zajistit chlazení kulové plochy. Pro chlazení jsem zvolil kruhový průřez kanálku, který je vytvořen ve spodní stěně kulové plochy. Voda projde jednou šroubovici po obvodu kulové plochy.

### Tepelný tok na spodní stěnu kulové plochy [II]

Tepelný tok je poměrem tepelného výkonu k povrchu spodní stěny kulové plochy. Obsah kulové plochy jsem změřil dle programu inventor.  $S_{kp} = 0,00238\text{ m}^{-2}$

$$\phi = \frac{P_{kp}}{S_{kp}} \quad [W \cdot m^{-2}] \quad (11-1)$$

$$\phi = \frac{300}{0,00238}$$

$$\phi = \underline{126271,7\text{ W} \cdot m^{-2}}$$

### Hmotnostní tok vody [II]

$$m = \frac{P_{kp}}{c_{p_{H_2O}} \cdot \Delta t} \quad [kg \cdot s^{-1}] \quad (11-2)$$

$$m = \frac{300}{4181,8 \cdot 0,72}$$

$$m = \underline{0,1\text{ kg} \cdot s^{-1}}$$

### Obsah průtočného průřezu kanálku

Průřez kanálku je kruhový, který volím  $r = 0,004\text{ m}$

$$S_k = \pi \cdot r^2 \quad [\text{m}^2] \quad (11-3)$$

$$S_k = \pi \cdot 0,004^2$$

$$S_k = \underline{0,00005 \text{ m}^2}$$

### Obvod průtočného průřezu kanálku

$$O_k = 2 \cdot \pi \cdot r \quad [\text{m}] \quad (11-4)$$

$$O_k = 2 \cdot \pi \cdot 0,004$$

$$O_k = \underline{0,025 \text{ m}}$$

### Rychlost vody v průřezu kanálu

$$w = \frac{m}{S_k \cdot \rho_{H_2O}} \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (11-5)$$

$$w = \frac{0,1}{0,00005 \cdot 998,2}$$

$$w = \underline{2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}$$

### Vztah pro hydraulický průměr $d_h$ [II]

Hydraulický průměr vyjadřuje charakteristický průměr potrubí. Vztah (11-6) vyjadřuje hydraulický průměr pro kruhový průřez.

$$d_h = \frac{4 \cdot S}{O} \quad [\text{m}] \quad (11-6)$$

$$d_h = \frac{4 \cdot 0,00005}{0,025}$$

$$d_h = \underline{0,008 \text{ m}}$$

### Výpočet teplotního rozdílu vody na vstupu a výstupu [III]

Výpočet teplotního rozdílu vody na vstupu a výstupu vychází z bilanční rovnice

$$\Delta t_{H_2O} = \frac{P_1}{w \cdot S_k \cdot \rho_{H_2O} \cdot c_{p_{H_2O}}} \quad [^\circ\text{C}] \quad (11-7)$$

$$\Delta t_{H_2O} = \frac{5700}{2 \cdot 0,00005 \cdot 998,2 \cdot 4181,8}$$

$$\Delta t_{H_2O} = \underline{0,72 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

Z výpočtu vyplývá, že voda na vstupu  $t_{H_2O \text{ vstup}}$  se po průchodu chladicími kanálky ohřeje o teplotu  $\Delta t_{H_2O} = 0,72^\circ\text{C}$ .

### **Teplota výstupní chladicí vody**

Vycházíme z výpočtu pro teplotního rozdílu vody.

$$t_{H_2O \text{ výstup}} = \Delta t_{H_2O} + t_{H_2O \text{ vstup}} \quad [^\circ\text{C}] \quad (11-8)$$

$$t_{H_2O \text{ výstup}} = 0,72 + 16$$

$$t_{H_2O \text{ výstup}} = \underline{16,72 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

Teplota na konci výstupu z chladicího kanálu bude  $16,72^\circ\text{C}$  a tedy nepřekročí dovolenou mez  $40 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

### **Reynoldsovo kritérium [II]**

Vliv rychlosti, viskozity vody a hydraulickém průměru na součinitel tření lze vyjádřit pomocí Reynoldsova kritéria.

$$Re = \frac{w \cdot d_h}{\nu_{H_2O}} \quad [-] \quad (11-9)$$

$$Re = \frac{2 \cdot 0,008}{1,006 \cdot 10^{-6}}$$

$$Re = \underline{15904,57} \Rightarrow 15905 > 10\,000$$

Z výsledné hodnoty vyplývá, že v chladicím kanálku bude voda působit turbulentním prouděním.

### **Prandtlovo kritérium**

Prandtlovo kritérium je stejné jako u předchozího výpočtu pro chlazení víka.

$$Pr = \underline{6,07}$$

### **Součinitel přestupu tepla [III]**

$$\alpha_k = \frac{0,021 \cdot \lambda_{H_2O} \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4}}{d_H} \quad [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}] \quad (11-10)$$

$$\alpha_k = \frac{0,021 \cdot 0,602 \cdot 15905^{0,8} \cdot 6,09^{0,4}}{0,008}$$

$$\alpha_k = \underline{7628} \, W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$$

### Výpočet teploty stěny víka $t_2$ [III]

Délku kanálku jsem určil dle programu inventor  $L_k = 0,2 \, m$

$$t_2 = \frac{P_{kp}}{\alpha \cdot O_k \cdot L_k} + \frac{t_{H_2O_{vstup}} + t_{H_2O_{výstup}}}{2} \quad [^{\circ}C] \quad (11-11)$$

$$t_2 = \frac{300}{7628 \cdot 0,025 \cdot 0,2} + \frac{16 + 16,72}{2}$$

$$t_2 = \underline{24,2} \, ^{\circ}C$$

Teplota stěny víky bude  $24,2 \, ^{\circ}C$ .

## 12 VÝPOČET SÍLY PRO NAKLÁPĚNÍ HOŘÁKU

Pro uvolnění hořáku je potřeba nejprve vypočíst třecí sílu víka a kulové plochy a kolmou tlakovou sílu mezi tělesy. Podílem těchto dvou sil je koeficient smykového tření viz Rovnice (12-1). Tlakovou sílu vyvozuje dotlačovací mechanismus, který působí konstantní silou na kulovou plochu, tak aby nedošlo ke ztrátě kontaktu dvou ploch a tím by mohlo dojít k úniku atmosféry z tavící komory.

## Zvolené veličiny

Veličiny	Označení	Hodnota	Jednotka
Síla, která dotlačuje kulovou plochu	$F_{n1}$	20	N
Tíhové zrychlení	$g$	9,81	$m \cdot s^{-2}$
Součinitel tření (ocel na ocel)	f	0,15	-
Poloměr kulové plochy	$r$	0,08	m
Průměr krokového motoru	D	0,005	m
Excentricita těžiště	e	$2,784 \cdot 10^{-3}$	m

*Tabulka 7 Zvolené veličiny*

### Součinitel smykového tření

$$f = \frac{F_t}{F_n} \quad [-] \quad (12-1)$$

Kde  $f$ ...součinitel smykového tření [-]

$F_t$ ...třecí síla [N]

$F_n$ ...kolmá tlaková síla mezi tělesy [N]

$$F_n = p \cdot S \quad [N] \quad (12-2)$$

$$F_n = \frac{4 \cdot F_{n1}}{S} \cdot S$$

$$F_n = \underline{80} \text{ N}$$

Z rovnice (12-1) si vyjádříme třecí sílu  $F_t$

$$F_t = F_n \cdot f \quad [N] \quad (12-3)$$

$$F_t = 80 \cdot 0,15$$

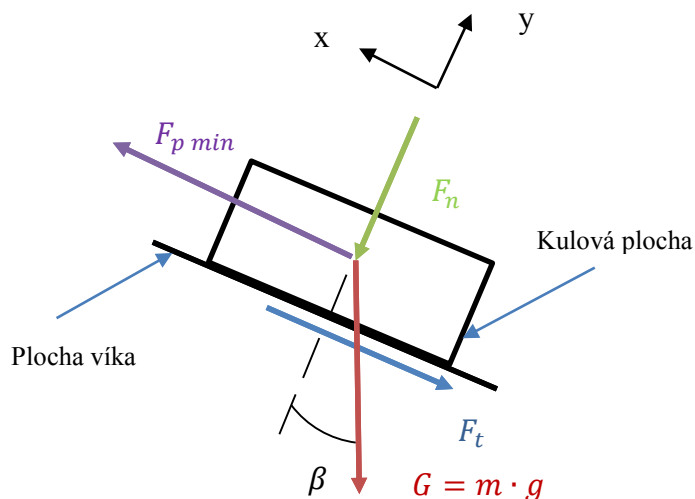
$$F_t = \underline{12} \text{ N}$$

### Výpočet minimální síly pružiny $F_p$



Pro určení minimální síly si uvolníme sestavu zavedením třecích a tlakových sil působících proti pohybu. Který je znázorněn na obr. 16.

### Působení sil v ose x, y



Obrázek 16 Rozložení sil

$$\sum_{i=0}^n F_{x_i}: F_{p \min} - F_t - G \cdot \sin 15 = 0 \quad [-] \quad (12-4)$$

Kde  $F_{p \min}$ ...minimální síla pružiny [N]

$F_t$ ...třecí síla [N]

$G$ ...tíhové zrychlení [ $kg \cdot m \cdot s^{-2}$ ]

$$F_{p \min} = F_t + (m \cdot g \cdot \sin 15) \quad [N] \quad (12-5)$$

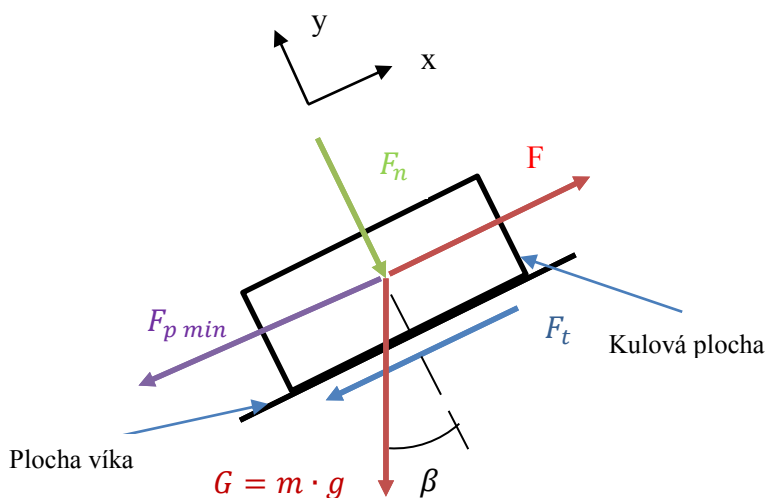
$$F_{p \min} = 12 + (15 \cdot 9,81 \cdot \sin 15)$$

$$F_{p \min} = \underline{50,1 \text{ N}}$$

Z výpočtu vyplývá, že minimální potřebná síla pružiny pro naklopení hořáku je 50,1 N. Sílu pružiny volím dle strojírenských tabulek [VI]  $\Rightarrow F_p = \underline{83,4 \text{ N}}$

### Výpočet síly pro naklopení krokovým motorem

Pro vyosení hořáku jsem použil krokový motor. Naklopení hořáku na protější stranu jsem zamezil pohyb pružinou. Určení potřebné síly pro vyosení hořáku pomocí krokového motoru je potřeba vzít potaz protější sílu proti-pružiny viz obr. 17.



Obrázek 17 Rozložení sil

$$\sum_{i=0}^n F_{x_i}: F - F_p - F_t - (G \cdot \sin 15) = 0 \quad [-] \quad (12-6)$$

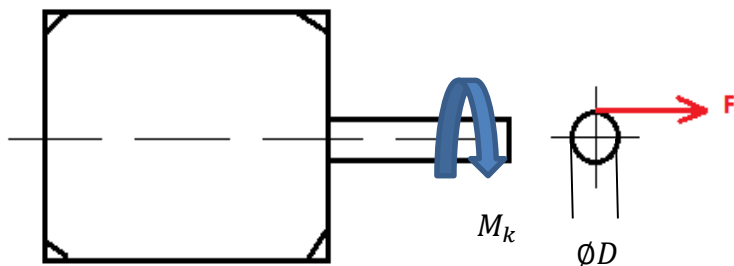
$$F = F_p + F_t + (m \cdot g \cdot \sin 15) \quad [\text{N}] \quad (12-7)$$

$$F = 83,4 + 12 + (15 \cdot 9,81 \cdot \sin 15)$$

$$F = \underline{136,5 \text{ N}}$$

### Výpočet krouticího momentu krokového motoru

Pro určení typu krokového motoru je zapotřebí znát krouticí moment  $M_k$ . Potřebnou sílu  $F$  jsme si spočetli v předchozí kapitole. Průměr  $D$  dle katalogu [1]  $D=5$  mm



Obrázek 18 Návrh krokového motoru

$$M_k = F \cdot \frac{D}{2} \quad [N \cdot m] \quad (12-8)$$

$$M_k = 136,5 \cdot \frac{0,005}{2}$$

$$M_k = \underline{0,34} \, N \cdot m$$

Volím krokový motor dle katalogu servo-drive [1] - Stepper Motors Size NEMA 14 - 0,9 and 1,8 Degrees step angle- pro kroutící moment  $M_k = 0,34 \, N \cdot m$

### **Moment setrvačnosti pro naklopení hořáku**

Těžiště a hmotnost naklápěného mechanismu je určen dle programu Autodesk Inventor 2013. Excentricita rotace otáčení od těžiště je  $e=2,784 \, \text{mm}$ .

### **Výpočet momentu setrvačnosti**

Moment setrvačnosti rotačních ploch rozlišujeme těžiště ve středu otáčení a mimo něj. Moment setrvačnosti budeme počítat pro těžiště mimo osu, pro které platí:

$$I = I_o + (e^2 \cdot m) \quad [kg \cdot m^2] \quad (12-9)$$

Kde  $I_o$ ...moment setrvačnosti ve středu rotace  $[kg \cdot m^2]$

$e$ ...excentricita těžiště  $[m]$

$m$ ...hmotnost mechanismu  $[kg]$

$$I_o = \frac{1}{2} \cdot m \cdot R^2 \quad [kg \cdot m^2] \quad (12-10)$$

Kde  $R$ ...poloměr kulové plochy  $R=0,08 \, m$   $[m]$

$$I_o = \frac{1}{2} \cdot 12 \cdot 0,08^2 \quad [kg \cdot m^2]$$

$$I_o = \underline{0,0384} \, kg \cdot m^2$$

Výslednou hodnotu  $I_o$  dosadíme do vztahu (12-9)

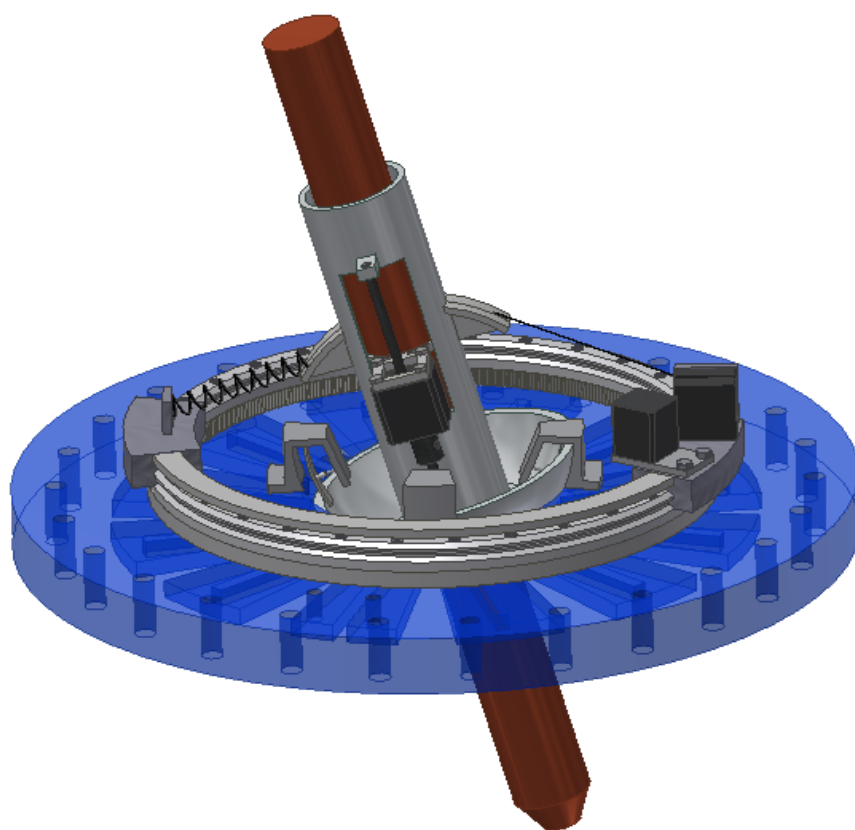
$$I = 0,0384 + (0,002784^2 \cdot 12)$$

## 12.1 Volba tažné pružiny

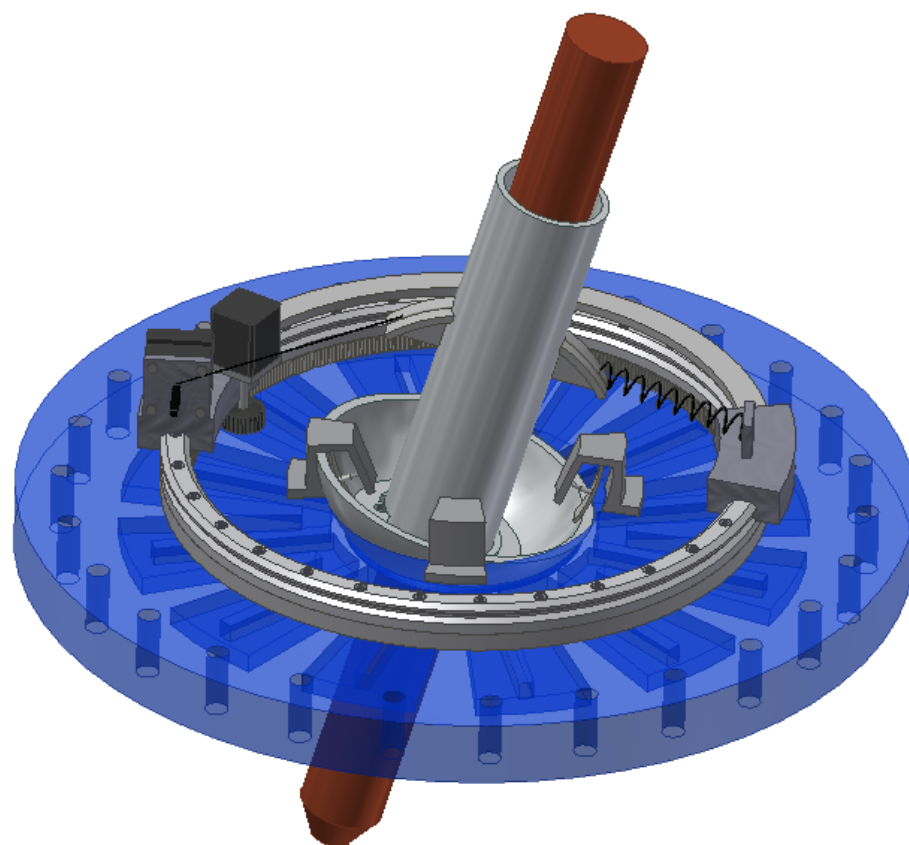
Potřebné délky k naklopení hořáku jsou změřené dle programu Autodesk Inventor 2013.  $l_0 = 80 \text{ mm}$ ,  $l_s = 120 \text{ mm}$ . Pružinu volím dle strojnických tabulek [VI]

Průměr drátu $d$ (mm)	1,6
Vnější průměr pružiny $D_1$ (mm)	14,1
Síla ve stavu plně zatíženém $F_8$ (N)	83,4
Předpětí $F_0$ (N)	8
Poměr vinutí $i$	8
Délka ve stavu volném $L_0$ (mm)	75
Oka v jedné rovině	32
Oka v rovinách na sebe kolmých	31,75
Délka ve stavu plně zatíženém $l_8$ (mm)	147

### 13 ÚPLNÁ STAVEBNÍ STRUKTURA



*Obrázek 19 Přední pohled - vika tavicí komory*



*Obrázek 20 Zadní pohled - vika tavicí komory*

## 14 TECHNICKÁ SPECIFIKACE

Víko je vyrobeno pomocí 3d obráběcího systému formátu STEP z dvou dílů. Díly jsou spojeny pomocí ultrazvukového svařování. Materiál jsem zvolil žáruvzdornou nerez ocel ČSN 17 246. Na horní plochu víka je přivařena podložka s ozubením. Na kterou je pomocí šroubu spojeno kruhové vedení s dvěma vozíky. Jeden vozík je pro pružinu a druhý pro navíjení ocelového lanka. Vozíky jsou spojené držákem pro rovnoměrnou rotaci. Na jednom vozíku je krokový motor s ozubeným kolem, který umožňuje rotaci vozíku kolem osy. Naklápěcí mechanismus se skládá z kulové plochy, ke které je navařena trubka pro hořák. Hořák je v trubce uchycen pomocí svorky, na které navazuje šroubový aktuátor umožňující vysouvání hořáku. Kulová plocha je přitlačována konstantní silou pomocí přitlačovacích čelistí uchycených v držáku. Držáky jsou přivařeny ke konstrukci víka. K naklápění hořáků dochází pomocí navíjení lanka na rotor krokového motoru. Zpětný pohyb je vymezen pružinou.

## 15 ZÁVĚR

Bakalářská práce se zabývá návrhem víka tavicí komory pro zpracování titanových slitin. Prvním krokem bylo vypracování rešeršní literatury, díky které jsem se seznámil s principem plazmové tavicí pece a zjištění aktuálních zařízení, které by bylo vhodné uplatnit na zařízení. Dalším krokem byla konstrukční část, kterou jsem se řídil pomocí metodiky konstruování dle [1]. První krokem metodiky konstruování jsem si ujasnil specifikaci požadavku. Po té jsem stanovil seznam potřebných funkcí. Důležitým krokem bylo vypracování orgánové struktury. Z morfologické matice jsem vybral dva koncepty, které jsem zhodnotil a následně vybral nejvhodnější návrh. Vybraný koncept jsem zpracoval do hrubé stavební struktury. Materiál víka jsem zvolil z nerez oceli, která sníží náklady na výrobu. Pro docílení funkčního návrhu, byly nezbytné výpočty. Hlavní pozornost jsem věnoval především při výpočtu chlazení a určení síly pro naklopení hořáku, z které jsem si určil sílu pružiny a potřebný rotační aktuátor, na který se navíjí lanko uchycené na trubce v níž je plazmový hořák. Chlazení víka jsem navrhnul obdélníkového průřezu, které se vine po obvodu v dutině víka hvězdicovým tažením. Jelikož je kulová plocha ve styku s tavicím procesem, bylo nezbytné navrhnout chlazení. Po výpočtové části následovalo vymodelování sestavy.

Při celkové konstrukci víka tavicí komory jsem pracoval s programem Autodesk Inventor 2013, pomocí kterého jsem udělal 3D model. Výrobní a sestavné výkresy jsem vytvořil pomocí převedených 3D modelů do 2D na výkres. Výkresová dokumentace je zařazena v seznamu přílohy.

## 16 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

### Knihy a skripta

- [I]. HUBKA Vladimír, Konstrukční Nauka, obecný model při konstruování, 2 přepracované a doplněné vydání. Vyd. 1995. 118s. ISBN 80-90 1135-0-8
- [II]. VOMOČIL Z. a JUREČKA Z., *Cvičení do sdílení tepla a proudění*. Vysoká škola Báňská - Technická Univerzita Ostrava, 2005. 100 s. ISBN 80-7078-793-7.
- [III]. PŘÍHODA Miroslav a Miroslav RÉDR. *Sdílení tepla a proudění*. Vysoká škola Báňská - Technická Univerzita Ostrava, 1998. 177 s. ISBN 80-7078-549-7.
- [IV]. HOLEČEK Oldřich a ŠNITA Dalimil. *Sdílení tepla, výpočtové vztahy*. 24 s. Dostupné z: <http://www.vscht.cz/uchi/ped/chi/chi.ii.ulohy.k11.sdileni.tepla.pdf>
- [V]. Z. NOGA. Sdělení okrajových podmínek a odborný odhad hodnot
- [VI]. LEINVEBER J. a VÁVRA P., *Strojnické tabulky*. Albra – pedagogické nakladatelství, Úvaly, 2006. 914 s.

### Internetové zdroje

- [1] Servo-Drive rotační a lineární pohony a technologie [online]. [cit. 2012-20-10]. Dostupné z: <http://www.servo-drive.com/>
- [2] Aplikace plazmového hořáku na kotel PG350 P. Kočvarová, M. Kozubková, VŠB-TU OSTRAVA [online]. [cit. 2012-19-11] Dostupný z: [http://www.ansys.stuba.sk/ansys2009/prednasky/prispevky/vsb\\_kocvarova.pdf](http://www.ansys.stuba.sk/ansys2009/prednasky/prispevky/vsb_kocvarova.pdf)
- [3] Porovnání technologií kyslíkového a plazmového řezání [online]. [cit. 2013-09-02]. Dostupný z: [https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/12763/2009\\_DP\\_Solar\\_Lubos\\_53181.pdf?sequence=1](https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/12763/2009_DP_Solar_Lubos_53181.pdf?sequence=1)
- [4] Plazmové technologie [online]. [cit. 2013-13-02]. Dostupný z: [http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=26494](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=26494)
- [5] THE UNIVERSITY OF BIRMINGHAM. *Advanced Melting, Atomisation, Powder and Spray Forming*. [online]. [cit. 2013-03-05]. Dostupné z: <http://www.birmingham.ac.uk/research/activity/irc-materials-processing/index.aspx>



- [6] APOELMOS- *Měřicí a regulační technika* [online]. [cit. 2013-15-04].  
Dostupný z: [http://www.apoelmos.cz/cz/info/sprutok\\_teplo68.htm#zalh\\_p503](http://www.apoelmos.cz/cz/info/sprutok_teplo68.htm#zalh_p503)
- [7] THK - *Kruhové/multipohybové vedení* [online]. [cit. 2013-04-15].  
Dostupné z: [http://www.loziska.com/store/kruhovy\\_pohyb.pdf](http://www.loziska.com/store/kruhovy_pohyb.pdf)
- [8] TRELLEBORG - *O-kroužky* [online]. [cit. 2013-04-18].  
Dostupné z:  
[http://tssstatic.com/remotemedia/media/globalformastercontent/downloadsautomaticlycreatedbyscript/catalogs/o\\_ring\\_cz.pdf](http://tssstatic.com/remotemedia/media/globalformastercontent/downloadsautomaticlycreatedbyscript/catalogs/o_ring_cz.pdf)

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Princip působení nízkoteplotní plazmy na primární směs [2].....	10
Obrázek 2 Princip plazmatronu[4].....	11
Obrázek 3 Těleso plazmového hořáku [3].....	12
Obrázek 4 Hybridní krokové aktuátory [1].....	13
Obrázek 5 Části krokového motoru [1] .....	14
Obrázek 6 Měřič průtoku tepla a plynu INMAT 51 [6] .....	14
Obrázek 7 Blokové schéma technického procesu [I].....	18
Obrázek 8 Blokové schéma technického procesu [I].....	18
Obrázek 9 Model technického procesu [I].....	19
Obrázek 10 Blokové schéma funkční struktury [I].....	20
Obrázek 11 Schéma hierarchického funkčního stromu [I] .....	21
Obrázek 12 Hrubá stavební struktura - Návrh č. 1 .....	25
Obrázek 13 Hrubá stavební struktura - Návrh č.2 .....	26
Obrázek 14 Schéma odvodu tepelné energie z pece [5] .....	27
Obrázek 15 Schéma kanálku ve víku.....	32
Obrázek 16 Rozložení sil.....	41
Obrázek 17 Rozložení sil.....	42
Obrázek 18 Nákres krokového motoru .....	42
Obrázek 19 Přední pohled - víka tavicí komory .....	45
Obrázek 20 Zadní pohled - víka tavicí komory .....	45

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Orgánová struktura [I] .....	22
Tabulka 2 Vybrané koncepty [I] .....	23
Tabulka 3 Hodnocení vybraných možností [1].....	24
Tabulka 4 Výsledky kolorimetrického měření plazmové pece s plazmovým obloukem stabilizovaným argonem o průtoku $15 \text{ l.min}^{-1}$ [5].....	27
Tabulka 5 Zvolené veličiny .....	29
Tabulka 6 Materiálové vlastnosti.....	29
Tabulka 7 Zvolené veličiny .....	40

## SEZNAM PŘÍLOHY

Příloha č. 1 Fyzikální vlastnosti naklápěcího mechanismu .....	53
Příloha č. 2 Výsledky tepelného výpočtu .....	54
Příloha č. 3 Kruhové vedení HCR 15A+60/300R [7] .....	55
Příloha č. 4 Stepper Motor Size NEMA 17 – 0,9 and 1,8 Degrees step angle [1] .....	56
Příloha č. 5 Řada 43000 - Nema 17 krokový aktuátor - Rozměrový výkres [1] .....	57
Příloha č. 6 O-kroužky [8] .....	58
Příloha č. 7 Výkresová dokumentace (11 výrobních a 2 sestavné výkresy)	
Příloha č. 8 CD	

## Příloha č. 1 Fyzikální vlastnosti naklápěcího mechanismu

Fyzikální vlastnosti jsou určeny dle programu Autodesk Inventor 2013.

Víko tavicí komory (Úroveň detailů1) iVlastnosti

Obecné Souhrn Projekt Stav Uživatelské Uložit Fyzikální

Materiál  Aktualizovat

Hustota  Požadovaná přesnost  Schránka

Obecné vlastnosti

☐ Zahrnout kosmetické svary ☐ Zahrnout přepsání KS

Těžiště

Hmotnost  X

Povrch  Y

Objem  Z

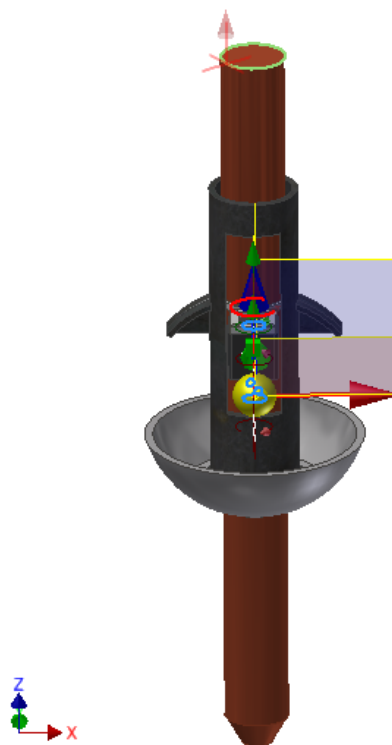
Vlastnosti setrvačnosti

Hlavní momenty

I1  I2  I3

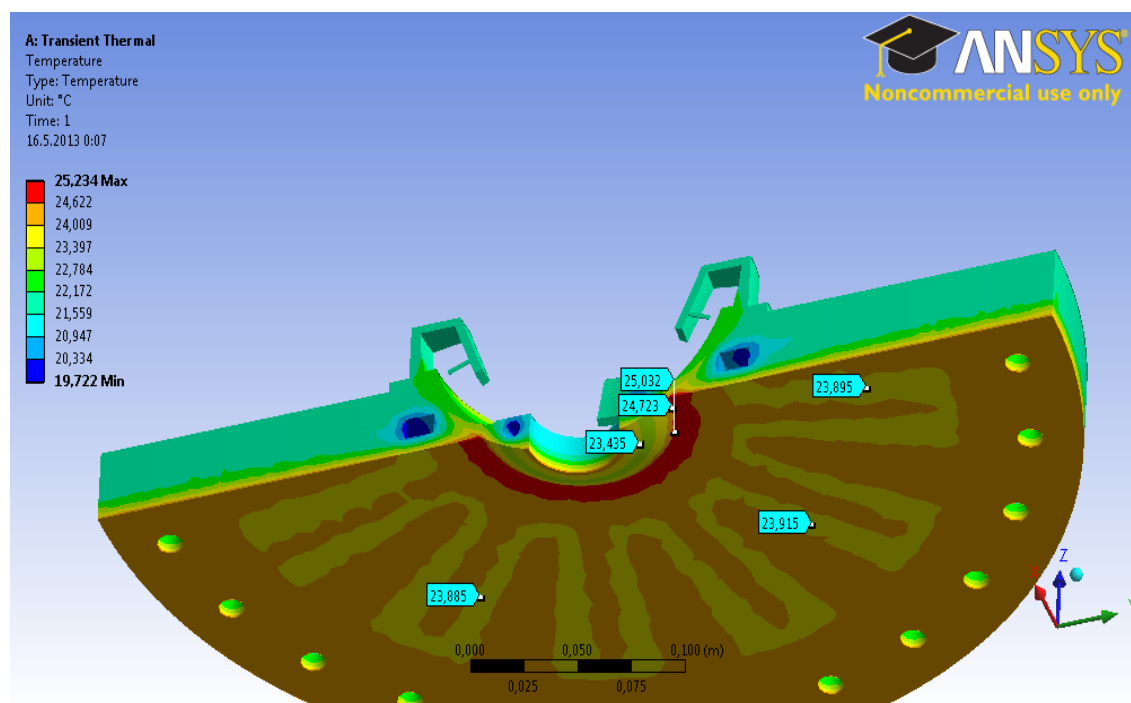
Rotace na hlavní

Rx  Ry  Rz

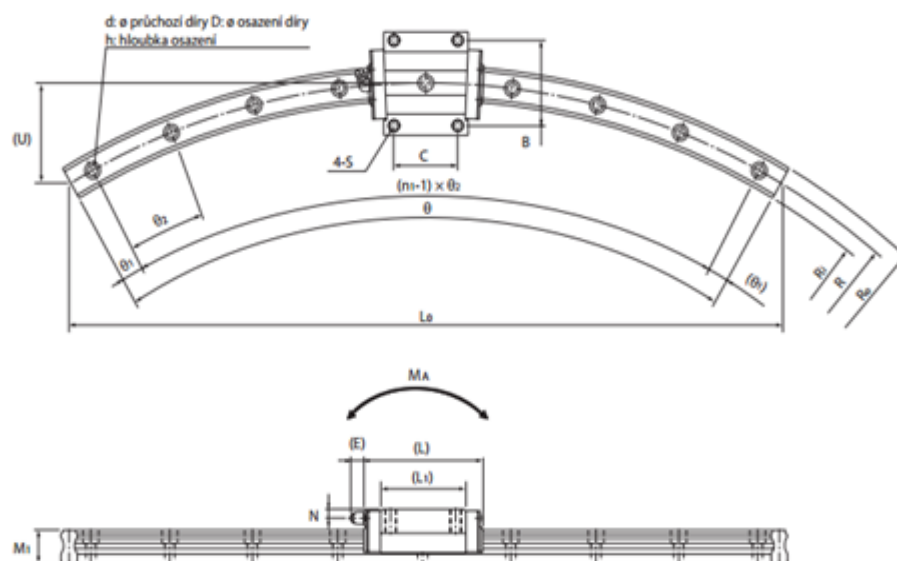


## Příloha č. 2 Výsledky tepelného výpočtu

Pomocí programu Ansys 13 jsem si znázornil působení tepelného toku na stěnu víka a kulové plochy. Do okrajových podmínek jsem zadal součinitel prostupu tepla pro víko  $\alpha_c = 8408,62 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$  a pro kulovou plochu  $\alpha_k = 7628 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ , tepelný tok na stěnu víka  $\phi = 91442,87 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  a kulové plochy  $\phi = 126271,7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ . Program Ansys prokázal, že teplota stěny víka a kulové plochy nepřesáhla dovolenou mez  $40^\circ\text{C}$ .



### Příloha č. 3 Kruhové vedení HCR 15A+60/300R [7]

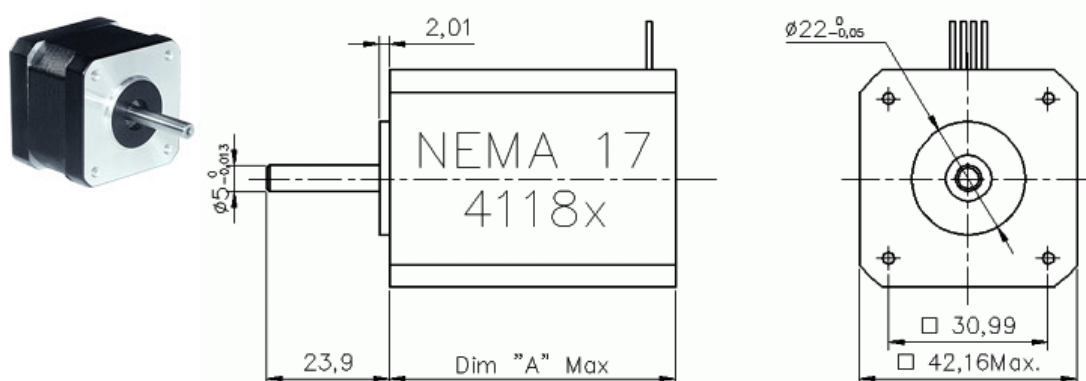


Jednotka: mm

	Rozměry kolejnice													Základní jmenovité zatížení		Připustný statický moment kNm*				
	R	R <sub>0</sub>	R <sub>1</sub>	L <sub>0</sub>	U	Šířka W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	Výška M <sub>1</sub>	d <sub>1</sub> x d <sub>2</sub> x h	n <sub>1</sub>	θ°	θ <sub>1</sub> °	θ <sub>2</sub> °	C kN	C <sub>0</sub> kN	M <sub>a</sub>		M <sub>b</sub>		M <sub>c</sub>
																1 vozík	2 vozíky	1 vozík	2 vozíky	1 vozík
	100	106	94	100	13,4	12	13,5	11	3,5x6x5	3	60	7	23	4,7	8,53	0,0409	0,228	0,0409	0,228	0,0445
	150	157,5	142,5	150	20,1					3	7	23	6,66	10,8						
	300	307,5	292,5	300	40	15	16	15	4,5x7,5x5,3	5	60	6	12	8,33	13,5	0,0805	0,457	0,0805	0,457	0,0844
	400	407,5	392,5	400	54					7		3	9	8,33	13,5					
	500	511,5	488,5	500	67					9		2	7							
	750	761,5	738,5	750	100	23	23,5	22	7x11x9	12	60	2,5	5	19,9	34,4	0,307	1,71	0,307	1,71	0,344
	1000	1011,5	988,5	1000	134					15		2	40							
	600	617	583	600	80					7		3	9							
	800	817	783	800	107	34	33	29	9x14x12	11	60	2,5	5,5	37,3	61,1	0,782	3,93	0,782	3,93	0,905
	1000	1017	983	1000	134					12		2,5	5							
	1300	1317	1283	1300	174					17		2	3,5							
	800	822,5	777,5	800	107					8		2	8							
	1000	1022,5	977,5	1000	134	45	37,5	38	14x20x17	10	60	3	6	60	95,6	1,42	7,92	1,42	7,92	1,83
	1200	1222,5	1177,5	1200	161					12		2,5	5							
	1600	1622,5	1577,5	1600	214					15		2	4							
	1000	1031,5	968,5	1000	134					8	60	2	8							
	1500	1531,5	1468,5	1500	201					10	60	3	6							
	2000	2031,5	1968,5	1531	152	63	53,5	53	18x26x22	12	45	0,5	4	141	215	2,45	13,2	2,45	13,2	3,2
	2500	2531,5	2468,5	1913	190					13	45	1,5	3,5							
	3000	3031,5	2968,5	1553	102					10	30	1,5	3							

## Příloha č. 4 Stepper Motor Size NEMÁ 17 – 0,9 and 1,8 Degrees step angle [1]

### Stepper Motor Size NEMA 17 - 0,9 and 1,8 Degrees step angle



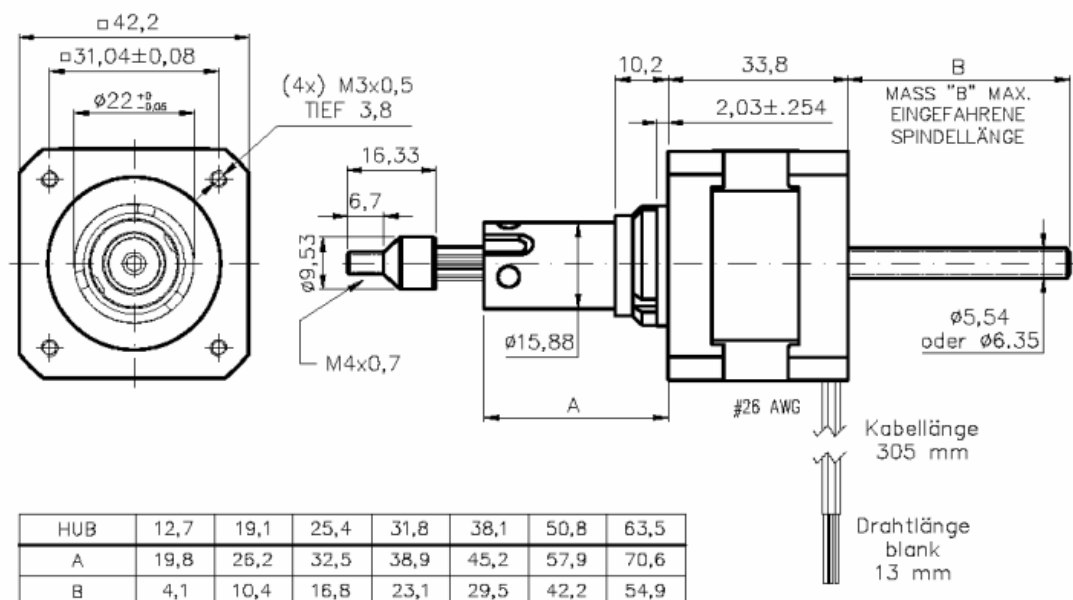
Length A	Model Number	Current per phase	Holding Torque	Resistance per phase	Inductance per phase	Inertia	Weight	Number of Leads	Request a Qoute
mm	-	A	Nm	Ohm	mH	kg.cm <sup>2</sup>	kg	-	⇒
34	4118S-02	1,3	0,32	2,8	3,6	0,03294	0,1814	4	⇒
34	4118S-04S	0,67	0,32	9,9	12,5	0,03294	0,1814	4	⇒
34	4118S-04P	1,34	0,32	2,5	3,1	0,03294	0,1814	4	⇒
34	4118S-09	0,9	0,32	5,3	6,7	0,03294	0,1814	4	⇒
40,1	4118M-01	1,7	0,44	1,5	3	0,05124	0,2721	4	⇒
40,1	4118M-06S	0,7	0,44	10,8	21,8	0,05124	0,2721	4	⇒
40,1	4118M-06P	1,4	0,44	2,7	5,5	0,05124	0,2721	4	⇒
48	4118L-01	2	0,59	1,4	2,7	0,06771	0,31745	4	⇒
48	4118L-07S	1,05	0,59	5,2	9,4	0,06771	0,31745	4	⇒
48	4118L-07P	2,1	0,59	1,3	2,3	0,06771	0,31745	4	⇒
59,9	4118C-01	2	0,89	2	3,3	0,10248	0,40815	4	⇒



# **Příloha č. 5 Řada 43000 - Nema 17 krokový aktuátor - Rozměrový výkres [1]**

CAPTIVE SHAFT / SPINDEL MIT VERDREHSICHERUNG

BAUREIHE 43000 NEMA 17



## Příloha č. 6 O-kroužky [8]

Pro kulovou plochu jsem zvolil typ kroužku FKM, který je vhodný pro namáhání jak pohyb, tak i pro otáčení. Pro těsnění hořáku jsem zvolil FFMK O-kroužek, který je pro namáhání pohybem.

### FKM

#### O-kroužky



Vnitřní průměr d <sub>1</sub>	Průměr průřezu d <sub>2</sub>	Typové označení	Norma / Standard								
			AS 568 B	AS 568 B / BS 1806	ISO 3601	SMS 1586	JIS B 2401	NFT 47-501	Francouzské doporučení	ISO 6149-2	BS 4518
59,00	3,00	OR3005900				●					
59,20	5,70	OR5705920									
59,30	5,70	OR5705930								●	
59,36	3,00	ORAR00932	932	●							
59,40	3,10	OR3105940					G60				
59,50	3,00	OR3005950				●				●	
59,60	2,40	OR2405960								●	

### FFMK

#### O-kroužky



Vnitřní průměr d <sub>1</sub>	Průměr průřezu d <sub>2</sub>	Typové označení	Norma / Standard								
			AS 568 B	AS 568 B / BS 1806	ISO 3601	SMS 1586	JIS B 2401	NFT 47-501	Francouzské doporučení	ISO 6149-2	BS 4518
44,60	2,90	OR2904460								●	
44,70	3,50	OR3504470					P45				
45,00	1,00	OR1004500									
45,00	1,50	OR1504500									
45,00	2,00	OR2004500									
45,00	2,50	OR2504500									
45,00	3,00	OR3004500									
45,00	3,50	OR3504500									
45,00	3,55	ORIC04500			●			●			